

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроніки**

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.396

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Г.Г. Власюк
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка
(код і назва спеціальності)

на тему: «Шляхи удосконалення передавання мультимедійного контенту в мережах 4G/LTE».

Виконала студентка VI курсу, групи ДВ-82мп
(шифр групи)

_____ Вишнівська Мирослава Ігорівна
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник зав. каф., д.т.н., професор Власюк Г.Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант 2, 3, 4 доцент. к.т.н. Попович П.В.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) _____ Факультет електроніки _____
(повна назва)

Кафедра _____ Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) 171 Електроніка («Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей»)
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Г.Г. Влсюк _____
(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
_____ Вишнівської Мирослави Ігорівни _____
(прізвище, ім'я, по батькові)**

1. Тема дисертації Шляхи удосконалення передавання мультимедійного контенту в мережах 4G/LTE.

науковий керівник дисертації Власюк Ганна Григорівна, професор, Д.Т.Н.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2019р. №3859-с

2. Строк подання студентом дисертації 9.12.2019р. _____

3. Об'єкт дослідження є методи та алгоритми удосконалення передавання мультимедійного контенту в мережах 4G/LTE.

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) показники якості передавання в мережах 4G/LTE, що забезпечують нормативні документи.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проаналізувати методи передавання мультимедійного трафіку в мережах 4G/ LTE; дослідити методи оцінювання продуктивності мереж LTE; запропонувати шляхи удосконалення

передавання мультимедійного контенту в мережах 4G/LTE; змоделювати показник CQI в середовищі MATLAB; розробити стартап-проект.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 12 слайдів презентації (в яких надано інформацію про: тему роботи, зміст, які дослідження проводились та їх результат).

7. Орієнтовний перелік публікацій «Порівняльна характеристика методів забезпечення якості обслуговування в мережах LTE-ADVANCED та WiMAX-ADVANCED» / Вишнівська М. І. // III Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем - 2019».

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2, 3, 4	доцент. к.т.н. Попович П.В.		

9. Дата видачі завдання 10.09.2018

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Приміт
	Написання першого розділу: «Аналіз ситуації а галузі».	10.10.2018	
	Написання другого розділу: «Методи обчислення».	15.12.2018	
	Написання третього розділу: «Шляхи удосконалення передавання мультимедійного контенту в мережах 4G/LTE.	01.05.2019	
	Написання четвертого розділу: «Моделювання CQI в середовищі MATLAB»	07.08.2019	
	Написання п'ятого розділу: «Розроблення стартап-проекту».	09.11.2019	
	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	03.11.2019	
	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	09.11.2019	

Студентка

(підпис)

М.І. Вишнівська

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

Г.Г. Власюк

УДК 621.396

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 104 с., 20 рис., 29 табл., 21 джерело.

МУЛЬТИМЕДІЙНИЙ КОНТЕНТ, ТРАФІК ПЕРЕДАВАННЯ, 4G/LTE, КАНАЛ ПЕРЕДАВАННЯ, eUTRAN, OFDMA, SC-FDMA, MIMO, PDSCH, SPEEDTEST

Актуальність роботи. Четверте покоління (4G) безпроводових широкосмугових мереж, таких як IEEE 802.16e було розроблено на основі вимог QoS для надання різних видів широкосмугових телекомунікаційних сервісів. LTE – це перспективне покоління мобільного зв'язку 4G, що характеризується високою швидкістю передавання даних і підвищеною якістю голосового зв'язку. До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, що дають змогу здійснювати передавання даних рухомим абонентам зі швидкістю, що перевищує 10 Мбіт/с. Забезпечення високих значень пропускної здатності у системі LTE для передавання мультимедійного трафіку є важливим завданням сьогодення, тому тема роботи є актуальною.

Мета та завдання роботи. *Метою роботи* є розроблення рекомендацій щодо підвищення ефективності передавання мультимедійного контенту в мережах 4G/LTE.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі *завдання*:

- проаналізувати методи передавання мультимедійного трафіку в мережах 4G/ LTE та виявити проблеми, які виникають під час передавання мультимедійного контенту в мережі LTE;
- дослідити методи оцінювання продуктивності мереж LTE, зокрема методи оцінювання пропускної здатності мережі та методи оцінювання просторових параметрів мережі;
- запропонувати шляхи удосконалення передавання мультимедійного контенту в мережах 4G/LTE;

- змодельовати індекс якості каналу в середовищі MATLAB для встановлення зв'язку між якісними показниками функціонування мережі та фізичними параметрами каналу LTE.

Об'єктом дослідження є методи та алгоритми передавання мультимедійного контенту в мережах 4G/LTE.

Предметом дослідження є показники якості передавання в мережах 4G/LTE, що забезпечують нормативні документи.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що для удосконалення передавання мультимедійного контенту запропоновано використання системи MIMO на основі вибору порту антени та кількості символів OFDM, а також застосування планування міжрівневої взаємодії в LTE та оцінювання стану каналу (CQI) без необхідності опитування мобільної станції.

Практичне значення отриманих результатів:

- дослідження пропускної здатності в мережах 3G та 4G, встановило, що швидкість Інтернет-з'єднання 4G/LTE в 1,9 разів більша за швидкість Інтернет-з'єднання 3G, а середня затримка в 3 рази нижча;

- моделювання CQI в середовищі MATLAB показало, якщо значення SINR змінюється в межах від 14 до 15 дБ, то значення індексу CQI залишається не змінним (для перших 42 кадрів). При поступовому зниженні SINR з 14 до 5 дБ значення індексу CQI також продовжує знижуватись від 10 до 6. Це призводить до зміни схеми модуляції і кодування MCS в підкадрах.

Методи дослідження: критичний аналіз методів керування трафіком в мережах LTE; порівняльний аналіз методів визначення пропускної здатності каналу та просторових параметрів мережі LTE; застосування програмного забезпечення Speedtest для визначення швидкості Інтернет-з'єднання в мережах 3G та 4G/LTE; застосування програмного середовища MATLAB для тестування показника якості каналу (CQI).

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень апробовано на III Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем - 2019».

Публікації. Результати досліджень, наведених в дисертації, оприлюднено в таких виданнях:

1. Вишнівська М. І. Порівняльна характеристика методів забезпечення якості обслуговування в мережах LTE-Advanced та WiMAX-Advanced» // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем - 2019».

SUMMARY

MULTIMEDIA CONTENT, TRANSMISSION TRAFFIC, 4G / LTE, TRANSMISSION CHANNEL, eUTRAN, OFDMA, SC-FDMA, MIMO, PDSCH, SPEEDTEST

Relevance of work. The fourth generation (4G) of wireless broadband networks such as IEEE 802.16e has been developed based over QoS requirements to provide various types of broadband telecommunications services. LTE is a promising generation of 4G mobile telephony, characterized by high data rates and improved voice quality. The fourth generation is considered to be a promising technology that allows data transmission to mobile subscribers at speeds exceeding 10 Mbps. Providing high bandwidth values in LTE for multimedia traffic is an important task today, so the topic of work is relevant.

Purpose and tasks of the work. The purpose of this work is to develop recommendations for improving the transmission efficiency of multimedia content over 4G / LTE networks.

To achieve this goal, you must perform the following tasks:

- to analyze the methods of transmission of multimedia traffic over 4G / LTE networks and identify problems that arise when transmitting multimedia content over the LTE network;
- to explore methods for assessing LTE network performance, in particular network throughput and network spatial parameters;
- to suggest ways to improve the transmission of multimedia content on over 4G / LTE networks;
- to model the channel quality index in MATLAB to link the quality of network performance and physical parameters of the LTE channel.

The subject of the study is methods and algorithms for transmitting multimedia content over 4G / LTE networks.

The object of the study is the quality of transmission in 4G / LTE networks that provide regulatory documents.

The scientific novelty of the work is that to improve the transmission of multimedia content, it is proposed to use the MIMO system based over the choice of antenna port and the number of OFDM symbols, as well as the application of inter-layer interaction planning in LTE and channel state estimation (CQI) without the need for a mobile station survey.

The practical significance of the results obtained:

- a 3G and 4G bandwidth study found that 4G / LTE internet connection speeds are 1.9 times faster than 3G internet connections and average latency is 3 times lower;

- CQI modeling in MATLAB showed that if the SINR value varies from 14 to 15 dB, then the CQI index value remains unchanged (for the first 42 frames). With the gradual decrease of SINR from 14 to 5 dB, the CQI index value also continues to decrease from 10 to 6. This changes the MCS modulation and encoding scheme in the subframes.

Research Methods: Critical Analysis of Traffic Management Techniques in LTE Networks; comparative analysis of channel bandwidth determination methods and LTE spatial parameters; use of Speedtest software to determine the speed of Internet connection over 3G and 4G / LTE networks; using MATLAB software to test channel quality index (CQI).

Testing the results of the thesis. The research results were tested at the 3rd All-Ukrainian Scientific and Technical Conference "Modern Technologies of Cinema and Audiovisual Systems - 2019".

Publications. The results of the research presented in the dissertation are published in the following editions:

1. Vyshnivska MI Comparative characteristics of quality assurance methods in LTE-Advanced and WiMAX-Advanced networks // // Proceedings of the Third All-Ukrainian Scientific and Technical Conference "Modern Cinema and Audiovisual Systems - 2019".

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	11
ВСТУП	15
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЕРЕДАВАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ В МЕРЕЖАХ 4G/ LTE	17
1.1 Мультимедійний контент	17
1.2 Принципи передавання трафіку в 4G/LTE	21
1.3 Управління параметрами якості обслуговування для мультимедійних послуг	24
1.4 Аналіз проблеми під час передавання мультимедійного контенту в мережах 4G/LTE	29
2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕРЕЖ LTE	31
2.1 Оцінювання пропускної здатності мережі стандарту LTE	31
2.1.1 Параметри, що впливають на швидкість стандарту LTE та методи їх оцінювання	31
2.1.2 OFDMA і SC-FDMA	32
2.1.3 Масштабованість ширини частотного каналу в LTE	33
2.1.4 MIMO в LTE	33
2.1.5 Канали управління в LTE	34
2.1.6 Вплив параметрів на показники пропускної здатності.	36
2.1.7. Залежність пропускної здатності і індикатором якості каналу	37
2.1.8 Дослідження впливу пропускної здатності мережі LTE на показники QoE та QoS	43
2.2 Визначення просторових параметрів мережі стандарту LTE	45
2.2.1 Підготовка карти місцевості	45
2.2.2 Вибір варіанту планування мережі LTE	46
2.2.3 Побудова вихідної мережі (мережі початкового наближення)	47
3 ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕДАВАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО	

КОНТЕНТУ В МЕРЕЖАХ 4G/LTE	50
3.1 Удосконалення архітектури мережі LTE	50
3.1.1 Архітектура мережі LTE	50
3.1.2 Структура мережі LTE	50
3.2 Особливості та параметри технології LTE-MIMO	53
3.2.1. Алгоритми формування пропускної здатності LTE на фізичному рівні	54
3.2.2. Формування пропускної здатності на основі вибору порту антени і кількості OFDM символів для різної смуги каналів «вгору» і «вниз»	57
3.2.3. Підвищення пропускної здатності на основі узгодженого планування міжрівневої взаємодії в системі LTE з урахуванням QoS.	59
3.2.4. Оцінка стану безпроводного каналу з використанням моделі ланцюга Маркова із скінченною кількістю станів	60
3.2.5 Порівняння 3G та 4G/LTE за допомогою тесту швидкості Інтернет-з'єднання (speedtest)	61
4 МОДЕЛЮВАННЯ CQI В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB	64
4.1 Тестування показника якості каналу (CQI) з використанням інструментів LTE Toolbox	64
4.2 Результати моделювання	70
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	73
5.1 Опис ідеї проекту	73
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту	75
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	76
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	84
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	86
ВИСНОВКИ	91
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	93
Додаток А	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

A/CCF	- Admission Capability Control Function, функція управління доступом;
AM	- Acknowledged Mode, режим із підтвердженням;
AMC	- Adaptive Modulation And Coding, адаптивна модуляція і кодування;
ATM	- Asynchronous Transfer Mode, асинхронний режим перенесення даних;
AWGN	- Additive White Gaussian Noise, адитивний білий Гаусівський шум;
BE	- Best Effort, найкраще з можливого;
BF	- Beamforming, імовірність помилки біта;
BLER	- Block Error Rate, імовірність помилки блоку;
BPSK	- Binary Phase Shift, бінарна фазова маніпуляція;
BS	- Base Station, базова станція;
CDMA	- Code Division Multiple Access, множинний доступ з кодовим розділенням каналів;
CF	- Classification Function, функція класифікації;
CN	- Core Network, базова мережа;
CP	- Cyclic Prefix, циклічний префікс;
CPS	- Common Part Sublayer, субшар спільної частини;
CQI	- Channel Quality Indicator, ідентифікатор якості каналу;
CS	- Convergence Sublayer, субшар конвергенції;
DCCH	- Dedicate Control Channel, призначений канал управління;
DC	- I Downlink Control Information, керуюча інформації низхідного каналу;
DSCP	- Differentiated Services Code Point, код диференційованої послуги;
DTCH	- Dedicated Traffic Channel, призначений канал трафіку;

EUE	- End User Equipment, кінцевий термінал користувача;
EPS	- Evolved Packet Switched, еволюційна пакетна комутація;
ESQOS I	- End Service Quality Of Service, наскрізна якість обслуговування;
FFT	- Forward Fourier Transfer, пряме перетворення Фур'є;
FSTD	- Frequency Switched Transmit Diversity, рознесення передачі у частотному домені;
GBR	- Guaranteed Bit Rate, гарантована швидкість передавання;
GOB	- Good Or Better Service, «Добре або краще»;
HARQ	- Hybrid Automatic Repeat Request, гібридний автоматичний запит повторного передавання;
IDFT	- Inverse Discrete Fourier Transform, зворотні дискретне перетворення Фур'є;
ISI	- Inter-Symbol Interference, між символна інтерференція;
ITU	- International Telecommunication Union, міжнародний союз електрозв'язку;
KPI	- Key Performance Indicator, ключовий показник ефективності;
LTE	- Long Term Evolution, довгострокова еволюція;
MAC	- Media Access Control, контроль доступу до середовища;
MC	- Modulation and Coding, модуляція і кодування;
MCS	- Modulation and Coding Schema, сигнально-кодова конструкція;
MF	- Mapping Function, функція відображення;
MIMO	- Multi Input Multi Output, багатоантенна система;
MME	- Mobility Management Entity, вузол управління мобільністю;
MOS	- Mean Opinion Score, усереднена суб'єктивна оцінка якості сприйняття;
MTU	- Maximum Transfer Unit, максимальний блок передавання;

NMS	- Network Management Service, сервіс управління мережею;
NRTPS	- Non-Real Time Polling Service, функція голосування нереального часу;
PDCCCH	- Physical Downlink Control Channel, фізичний низхідний канал управління;
PDSCH	- Physical Downlink Shared Channel, фізичний низхідний спільний канал;
PERL	- Packet Error Loss Rate, імовірність втрати пакету;
PF	- Proportional Fairness, проторційна справедливість;
PS	- Privacy Sublayer, підрівень приватності;
PSNR	- Peak Signal To Noise Ratio, пікове співвідношення сигнал/шум;
PUSCH	- Physical Uplink Shared Channel, фізичний висхідний спільний канал;
QAM	- Quadrature Amplitude Modulation, квадратурна амплітудна модуляція;
RAN	- Radio Access Network, мережа радіодоступу;
RBG	- Resource Block Group, група ресурсних блоків;
RLR	- Receive Loudness Rating, оцінка отриманої гучності;
RM	- Resource Management, управління ресурсами;
RMF	- Resource Manager Function, функція управління ресурсами;
RTPS	- Real Time Polling Service, функція голосування реального часу;
SAE	- System Architecture Evolution, еволюція системної архітектури;
SCF	- Subscriber Control Function, функція контролю абонентів;
SDUs	- Service Data Units, сервісні блоки даних;
SF	- Spreading Factor, параметр розширення;
SFBC	- Space Frequency Block Code, просторово-частотний блочний

код;

- SFID - Service Flow Identifier, ідентифікатор сервісного потоку;
- SG - Signaling Gateway, сигнальний шлюз;
- SGW - Serving Gateway, обслуговуючий шлюз;
- SAE - System Architecture Evolution, еволюція системної архітектури;
- SU-MIM - Single User Multi Input Multi Output, багатоантенна система в однокористувацькому режимі;
- SVD - Singular Value Decomposition, сингулярний розклад;
- TB - Transport Block, транспортний блок;
- TCF - Traffic Condition Function, функція стану трафіку;
- TDD - Time Division Duplex, дуплекс із часовим розділенням;
- TDMA - Time Division Multiple Access, множинний доступ з часовим розділенням;
- TE - Terminal Equipment, термінальне обладнання;
- UGS - Unsolicited Grant Service, негарантоване обслуговування;
- UMTS - Universal Mobile Telecommunication System, універсальна мобільна телекомунікаційна система;
- 4G - 4rd Generation, четверте покоління;
- 3GPP - 3rd Generation Partnership Project, проект партнерства 3-го покоління.

ВСТУП

Роботу присвячено дослідженню шляхів підвищення якості надання послуг в безпроводових телекомунікаційних системах четвертого покоління на основі технології LTE (Long Term Evolution). В роботі це досягається за рахунок адаптації пропускної здатності радіоканалу до дозавадової ситуації в каналі та покращення міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE.

Четверте покоління (4G) безпроводових широкосмугових мереж, таких як IEEE 802.16e було розроблено на основі вимог QoS для надання різних видів широкосмугових телекомунікаційних сервісів. LTE – це перспективне покоління мобільного зв'язку 4G, що характеризується високою швидкістю передавання даних і підвищеною якістю голосового зв'язку. До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, що дають змогу здійснювати передавання даних рухомим абонентам зі швидкістю, що перевищує 10 Мбіт/с. Забезпечення високих значень пропускної здатності у системі LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогонального частотного розділення OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), передавання сигналів за допомогою багатоантенних систем MIMO (Multiple Input Multiple Output) і еволюційної системної (сервісної) архітектури мережі (System Architecture Evolution).

Головне завдання, на яке спрямована робота, полягає у розробленні методів оцінювання та збільшення пропускної здатності сучасних безпроводових систем зв'язку з дотриманням високої якості обслуговування користувачів. Вирішення цього завдання полягає у використанні антенних систем як на приймальному, так і на передавальному кінцях каналу зв'язку (так звані MIMO (Multiple Input-Multiple Output) - системи) разом із технологією OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Крім пропускної здатності, важливою характеристикою системи є імовірність бітової помилки. Тому необхідно постійно підтримувати баланс між цими двома важливими для користувача характеристиками. Цього можна досягти за рахунок

удосконалення методів та моделей розподілу ресурсів в комірці LTE. Отже, підвищення якості сприйняття послуг у мережах LTE на основі адаптації радіоканалу та удосконалення міжрівневої взаємодії сервісної архітектури LTE є актуальним.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЕРЕДАВАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ В МЕРЕЖАХ 4G/ LTE

Четверте покоління (4G) безпроводних широкосмугових мереж, таких як IEEE 802.16e, проект партнерства третього покоління (3GPP) і LTE, було розроблено на основі вимог QoS для надання різних видів широкосмугових телекомунікаційних сервісів. LTE – це перспективне покоління мобільного зв'язку 4G, що характеризується високою швидкістю передачі даних і підвищеною якістю голосового зв'язку. До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, що дають змогу здійснювати передавання даних рухомим абонентам зі швидкістю, що перевищує 10 Мбіт/с. Забезпечення високих значень пропускної здатності у системі LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогонального частотного поділу OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), передавання сигналів за допомогою багатоантенних систем MIMO (Multiple Input Multiple Output) і еволюційна системна (сервісна) архітектура мережі (System Architecture Evolution).

1.1 Мультимедійний контент

Мультимедіа – це система комплексної взаємодії візуальних і аудіоефектів під управлінням інтерактивного програмного забезпечення з використанням сучасних технічних і програмних засобів, які об'єднують текст, звук, графіку, фото, відео тощо в одному цифровому відтворенні. Мультимедіа (лат. Multum + Medium) – комбінування різних форм подання інформації на одному носієві, наприклад, текстової, звукової і графічної, або, останнім часом все частіше – анімації і відео [1]. Характерна, якщо не визначальна, особливість мультимедійних веб-вузлів і компакт-дисків – гіперпосилання. Поняття, що означає сполучення звукових, текстових і цифрових сигналів, а також нерухомих і рухомих образів. Так, мультимедійна база даних буде вміщувати

текстову і образну інформацію, відеокліпи і таблиці, і все це має однаково легкий доступ. Мультимедійна телекомунікаційна послуга дозволяє користувачеві посилати і одержувати будь-яку форму інформації, взаємозамінну за бажанням.

Мультимедійний трафік. Під мультимедійним трафіком розуміють цифровий потік даних, який містить різні види повідомлень, що сприймаються органами чуття людини (зазвичай звукова та/або відеоінформація) Мультимедійні дані об'єднують текст, зображення, звук, відео, анімацію, інтерактивні можливості (використання гіперпосилань) тощо.

Мультимедійні потоки даних передаються телекомунікаційними мережами з метою надання віддалених інтерактивних послуг. Найбільш поширеними мультимедійними послугами, які можуть отримати користувачі інформаційних мереж, є: відеотелефонія, високошвидкісне передавання мультимедійних даних, ІРтелефонія, цифрове телевізійне мовлення, мобільний відеозв'язок, цифрове відео за запитом, дистанційний моніторинг приміщень та територій

Трафік, в сучасних мережах, можна розділити на чотири основних класи: трафік реального часу, потоковий трафік, трафік передавання даних та трафік систем сигналізації, кожен з яких відрізняється за рівнем чутливості до характеристик мережі.

Основні характеристики кожної з цих груп трафіку [2, 4]:

- Трафік реального часу – трафік чутливий до затримок, втрати пакетів та джитера, який генерують мультимедійні сервіси, такі як VoIP-телефонія та відео конференції, сервіси управління технологічними процесами та промисловим обладнанням, а також інші послуги реального часу. Основними особливостями наведених послуг є: інтерактивність, використання ІР-мережі, застосування протоколів реального часу, використання механізмів пріоритетності та стабілізації часу проходження пакетів по мережі.

- Потоковий трафік – трафік, схожий на трафік реального часу, але значно критичніший до параметрів мережі (затримок, втрати пакетів, джитера тощо) та відтворення (перегляд та (або) прослуховування) інформації по мірі її надходження на термінальне обладнання користувача. До послуг, які генерують цей вид трафіку, можна віднести: IP-телефонію, широкомовне IP-телебачення, перегляд відеоматеріалів з оплатою за показ (Pay-per-view, PPV), відео на замовлення (VoD), Інтернет телебачення, дистанційне навчання, конференц-зв'язок, відеоспостереження в реальному часі та інші послуги реального часу, критичні до параметрів каналу зв'язку.

- Трафік передавання даних трафік – це трафік, для якого зміна пропускної здатності тракту практично не впливає на якість обслуговування. Прикладом може бути трафік електронної пошти, пересилання даних, веб-додатків (трафік HTTP, SMTP, FTP).

- Трафік систем сигналізації – це потік окремих викликів (інтерактивний). Може передаватися за допомогою різних протоколів, основні з яких: SIP, H.323, MGCP, H.248/MEGACO та ін. Характеризується невеликою чутливістю до параметрів якості обслуговування [3, 4].

- Характерним є те, що при переході до мереж наступного покоління, побудованих на основі протоколу IP, зростає частка трафіку реального часу, в порівнянні з традиційним трафіком передавання даних, що пояснюється зростанням інтересу до сервісів, які дозволяють передавати по мережі звук та відео високої якості, таких як AoD (Audio on Demand), VoD та IPTV.

Різноманітні послуги мають відповідну класифікацію і для кожного класу специфіковані якісні показники QoS (Quality of Service). Характеристики QoS визначають [7. 26]:

- пріоритетність трафіку;
- допустимі затримки;
- надійність передачі;

- необхідні швидкості передачі: максимально підтримувана швидкість трафіку і мінімальну зарезервовану швидкість;
- допустимий часовий джитер (нерівномірність в періодичності доставки пакетів).

Відзначимо, що деякі параметри QoS взаємно суперечливі, наприклад, затримка і рівень помилок в прийнятих пакетах, тобто, власне, надійність. Так, при передаванні голосового трафіку наскрізна затримка не повинна перевищувати 150 мс при допустимій втраті інформаційних пакетів не більше 3%. Якщо розглядати потоковий трафік, то в цьому випадку допустимі втрати інформаційних пакетів не перевищують 1%, а для інтерактивного трафіку втрати інформаційних пакетів взагалі недопустимі — його послуги (як і послуги фоновому трафіку) передаються в режимі з підтвердженням, і необхідність повторної передачі прийнятих з помилками пакетів не дає змогу виміряти величину затримки.

Таблиця 1.1 - Діапазони значень параметрів QoS [20]

Параметр QoS	Голосовий клас	Потоковий клас	Інтерактивний клас	Фоновий клас
Максимальна швидкість передавання (Кбіт/с)	256 000	256 000	256 000	256 000
Гарантована швидкість передавання (Кбіт/с)	256 000	256 000		
Порядок доставки	Так ні	Так ні	Так ні	Так ні
Максимальний розмір (у байтах) пакетів даних	1 500 чи 1 502	1 500 чи 1 502	1 500 чи 1 502	1 500 чи 1 502
Можливість доставки спотворених пакетів даних	Так ні	Так ні	Так ні	Так ні
Залишковий коефіцієнт помилок	$5 \cdot 10^{-2}$, 10^{-2} , $5 \cdot 10^{-3}$, 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}	$5 \cdot 10^{-2}$, 10^{-2} , $5 \cdot 10^{-3}$, 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}	$4 \cdot 10^{-3}$, 10^{-5} , $6 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-3}$, 10^{-5} , $6 \cdot 10^{-8}$
Затримка передавання (мс)	100 — макс. значення	300 — макс. значення		
Пріоритет в управлінні			1, 2, 3	

трафіком				
Призначення / зняття пріоритету	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
Статистичний дескриптор джерела	Мовний / невідомий	Мовний / невідомий	Мовний / невідомий	Мовний / невідомий
Індикатор службової інформації			Так ні	
Виділене призначення / зняття пріоритету: -рівень пріоритету; -переважне заняття каналу; - переважна міра захищеності	1...15 Так ні	1...15 Так ні	1...15 Так ні	1...15 Так ні

1.2 Принципи передавання трафіку в 4G/LTE

Четверте покоління (4G) безпроводних мереж широкосмугового доступу, розроблене на основі вимог QoS для надання різного роду веб-послуг.

Основні вимоги до систем безпроводного широкосмугового доступу (БШСД) такі [7]:

- до фізичного рівня (PHY) - методів множинного доступу, адаптації, організації дуплексу, модуляції і т.д.;
- до MAC-рівня (управління доступом до середовища) - до сервісів між MAC-рівнем і підрівнем конвергенції, форматів фрейму, сервісів та механізмів поліну (варіант опитування готовності пристроїв), що забезпечує підтримку якості обслуговування (QoS);
- до підрівня конвергенції (CS), призначеного для організації взаємодії між MAC-рівнем та більш високими рівнями мережі;
- до рівня безпеки – для управління алгоритмами шифрування на ділянці між базовою та мобільною станціями.

MAC-рівень IEEE 802.16 включає три підрівні зображені на рис.1.1:

- підрівень перетворення потоків послуг (CS - Convergence Sublayer);

- основний підрівень (CPS - Common Part Sublayer);
- підрівень безпеки (PS - Privacy Sublayer).

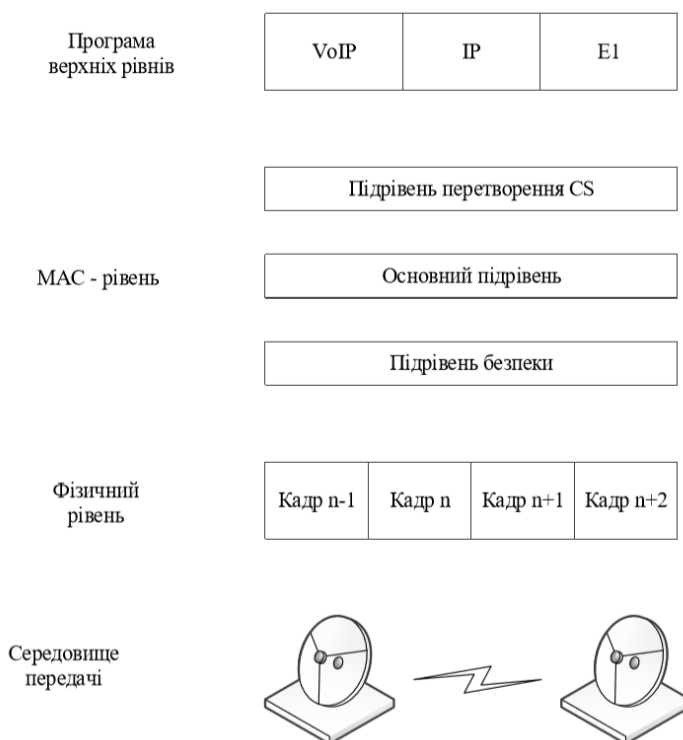


Рисунок 1.1 - Структура MAC-рівня стандарту IEEE 802.16e

На рис.1.1 представлено стек протоколів LTE-EPC [8], який використовується для наскрізного з'єднання. Основним спрощенням запропонованого підходу є об'єднання SGW/PGW, яке усуває необхідність у використанні інтерфейсів S5 та S8. Проте, всі специфіковані протоколи збережено. Фізичний рівень відповідає за передавання інформації MAC рівня через радіоінтерфейс. Він реалізує функції адаптації (AMC), управління потужністю, пошуку комірок та вимірювання параметрів сигналу для задач рівня управління радіоканалом. Рівень доступу до середовища здійснює відображення логічних каналів у транспортні, мультиплексування блоків даних від одного або декількох логічних каналів у транспортні блоки для доставки їх засобами фізичного рівня, демультиплексування блоків даних, інформування про процес оброблення блоків даних, виправлення помилок засобами HARQ, призначення пріоритетів MC для динамічного керування ресурсами, призначення пріоритетів логічним каналам у межах однієї MC.

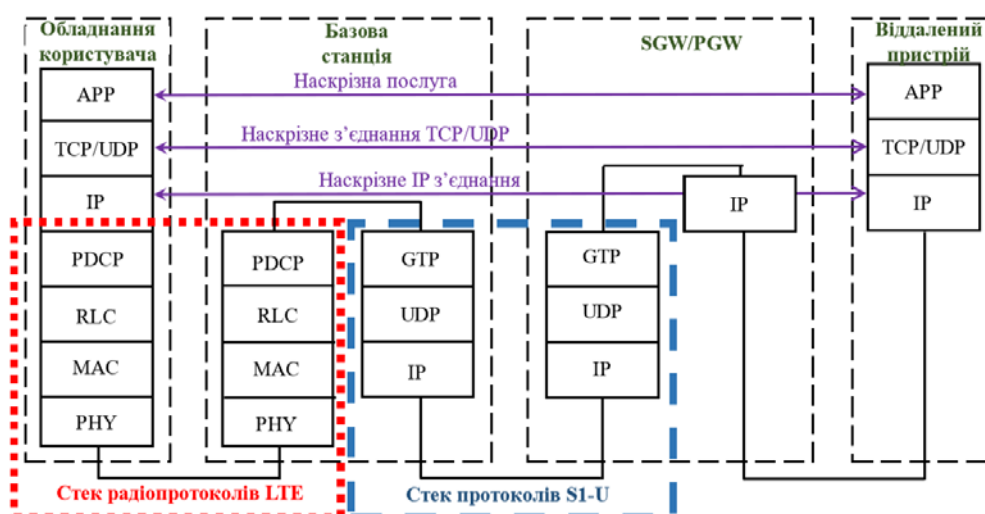


Рисунок 1.2 - Стек протоколів LTE-EPC

Рівень управління радіоканалом працює у одному з трьох режимів: прозорий, без підтвердження, із підтвердженням. Він забезпечує пересилання пакетів даних вищих рівнів, виправлення помилок засобами ARQ, їх об'єднання, сегментування і відновлення у вигляді блоків даних рівня управління радіоканалом. Також цей рівень виконує повну множину операцій із власними пакетами даних у залежності від режиму пересилання. Рівень управління радіоресурсами забезпечує поширення службової інформації, яка стосується площин доступу та транспорту, управління з'єднаннями, підтримку функцій безпеки, до чого належить контроль політик обміну ключами між абонентським терміналом і мережею радіо доступу. Однією з важливих функцій у контексті роботи є управління послугами передавання по радіоефіру.

Рівень управління конвергенцією пакетних даних здійснює компресію заголовків даних IP, пересилання даних в площині користувача чи керування, управління послідовністю номерів пакетів даних. Він відповідає за правильність послідовності доставки пакетів, усунення їх можливих дублікатів, відображення послуг передавання по радіоефіру у режим передавання з підтвердження рівня управління радіоканалом. Також цей рівень здійснює шифрування і дешифрування даних площини користувача, контролює

тривалість їх доставки з метою видалення неактуальної інформації, що циркулює у мережі.

Рівень протоколів, що не реалізують функції доступу, відповідає за комунікацію вищого рівня між МС та вузлом управління мобільністю. Цей рівень забезпечує підтримку мобільності абонентів і управління сесіями передавання даних IP між МС та крайовим шлюзом пакетної мережі PDN GW.

Формування усіх вимог по забезпеченню якості обслуговування відбувається на MAC – рівні.

1.3 Управління параметрами якості обслуговування для мультимедійних послуг

Безпроводові мережі оцінюються критеріями KPI (key performance indicator – ключові параметри якості), які визначають ступінь задоволеності клієнтів та продуктивність оператора. Одним із важливих параметрів є якість сприйняття послуг (QoE), який використовують для опису сприйняття наданих послуг кінцевим користувачам. QoS (якість обслуговування) описує здатність мережі надавати послуги з гарантованою якістю обслуговування. Для того, щоб ефективним чином забезпечити найкращі показники QoE користувачів, мережеві та сервісні провайдери повинні належним чином керувати якістю обслуговування і наданими послугами. QoS та QoE є взаємозалежними, тому їхнє дослідження та управління повинно здійснюватися за єдиним принципом, від планування мережі до її технічної реалізації. Іншими словами, цілі мережі та послуг повинні досягати максимальних показників QoE, в той час як якість обслуговування (QoS) є основним будівельним блоком для досягнення цих показників. Проте, QoE не є обмеженим лише технічною продуктивністю мережі, є також не технічні аспекти, які впливають на загальне сприйняття сервісів користувачами.

На рис. 1.3 наведено модель відображення параметрів QoS та QoE [20, 21]. QoS визначається як здатність мережі надавати послуги на гарантованому рівні обслуговування. QoS охоплює всі функції, механізми і процедури в мережі та терміналах, що забезпечують надання узгодженої якості послуг між користувальницьким устаткуванням (UE) і базовою мережею (CN). QoE відображає практичність використання сервісів користувачами – те на скільки вони задоволені отриманими послугами, наприклад зручність у використанні, доступність, надійність та цілісність обслуговування. До цілісності обслуговування відносять затримку, зміну затримки (джиттер) і втрату даних під час передачі даних до користувача; доступність сервісних послуг по відношенню до недоступності, безпеку (аутентифікація, авторизація та облік), активацію, доступ, зону дії, блокування, і час встановлення з'єднання з відповідною службою односпрямованого каналу, службу утримування цілісності, що загалом характеризують втрати з'єднання.

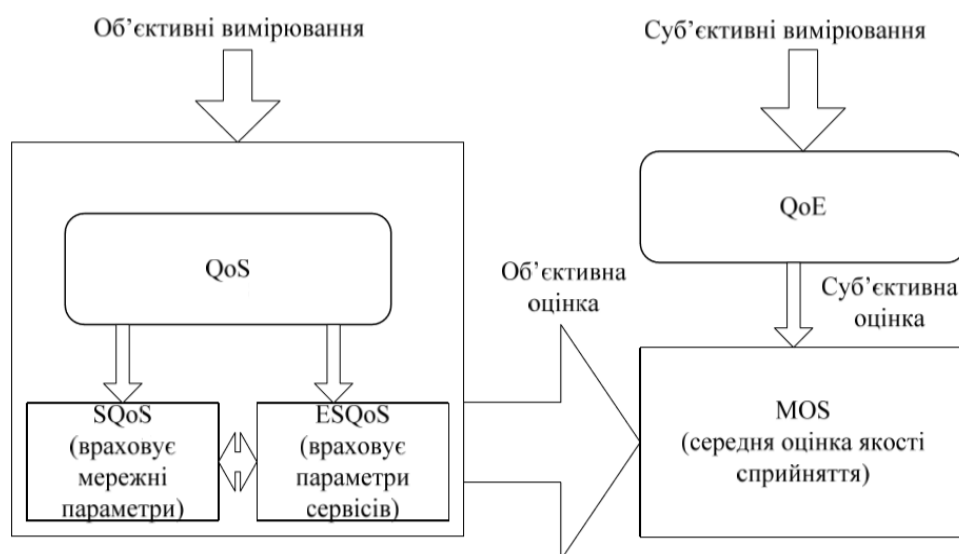


Рисунок 1.3 - Модель відображення параметрів QoS та QoE

Однак, у багатьох випадках кращі QoS не означають кращі QoE, і, водночас, задоволення всіх вимог QoS по трафіку не означає задоволення потреб користувачів. Відмінна пропускна здатність в одній частині мережі не завжди допоможе, якщо на невеликій відстані вже зникає покриття. Наскільки

відомо, статистика по QoS дає оператору дуже мало відомостей стосовно задоволення кінцевих користувачів. Таким чином, висновок про те, що QoE покращене за допомогою механізмів QoS, які використовуються для зменшення джитера чи середньої затримки надходження пакетів не завжди є вірним. Важливим є хороший рівень QoE і метою QoS повинне бути покращення QoE.

Надання сервісу з високим QoE ґрунтується на примноженні відомостей про фактори, які головним чином впливають на користувацьке сприйняття і використанні цих відомостей для визначення операційних вимог. Підхід зверху-вниз знижує витрати на розробку і ризики відторгнення користувача та скарги шляхом забезпечення того, що пристрої або система задовільняють потреби користувачів.

Керування параметрами QoE і QoS може бути розділене на чотири основні категорії: планування мережі, забезпечення QoS, QoE і QoS – моніторинг та оптимізація [20].

Планування мережі. Процес планування включає вимірювання параметрів мережі та детальне планування мережі. Вимірювання мережних параметрів (чи первинне планування) надає оцінку кількості необхідних радіо-, передавальних та центральних мережних елементів та обсяг відповідних їм інтерфейсів.

У свою чергу, їх обчислення ґрунтуються на вимогах оператора по ємності, покриттю та QoS. На етапі детального мережного планування, для кожної частини мережі та інтерфейсу між взаємодіючими елементами, виконується аналіз ємності мережі та покриття. Це вимагає врахування реальних типів трафіку, мережних топологій, а також реальних характеристик та функціоналу мережного обладнання і сигналів, які вони використовують.

Резервування QoS. Резервування (забезпечення) QoS є процесом впровадження QoS в мережах та мобільних терміналах. Цей процес транслює результати планування до вигляду механізмів та параметрів, придатних до використання мережними елементами та мобільними терміналами і в

подальшому він налаштовує їх на обладнанні та пристроях. Забезпечення QoS розділяється на 3 категорії:

- забезпечення QoS на рівні безпроводного доступу, рівні ядра та транспортному рівні, тобто налаштування QoS відбувається всередині мережі;
- забезпечення QoS на сервісному рівні, де кожному сервісу ставиться у відповідність певний QoS профіль (набір атрибутів сервіспровайдера);
- забезпечення термінального QoS, яке надає терміналам службову інформацію додатків;

Моніторинг QoE та QoS. З ростом мобільних сервісів точне вимірювання QoS та QoE та їх максимально ефективне вдосконалення стало дуже актуальним для операторів, оскільки це означає збереження користувацької аудиторії та забезпечення конкурентоспроможності. Низький QoE веде до зростання кількості незадоволених користувачів, що, у свою чергу, негативно позначається на розвитку оператора в цілому.

Хоча QoE має дуже суб'єктивний характер, максимальна реалістичність стратегії його вимірювання є вкрай важливою. Спроможність вимірювати QoE дасть оператору можливість зрозуміти, наскільки вагомим є внесок, який робить мережна швидкодія на фоні загального задоволення користувачів у площинах надійності, доступності, масштабованості, швидкості, точності та ефективності. Ці елементи визначають QoE та конкурентоспроможність в просторі сучасних пакетних мереж. Враження від користування краще виражаються людськими словами, ніж чисельними величинами. Вони можуть бути відмінними, дуже добрими, добрими, задовільними та незадовільними. Існують 2 практичні підходи до вимірювання QoE:

- підхід сервісного рівня, що використовує статистичні дані зібрані з сукупності терміналів;
- підхід системи мережного керування (Network management system, NMS), яка використовує параметри QoS;

Перший спирається на середньостатистичну вибірку мережних користувачів для вимірювання QoE для решти користувачів. Цей процес включає:

- визначення зважених коефіцієнтів ключових додатків;
- ідентифікацію та зважування KPI для QoE;
- розробку належної статистичної вибірки (географічні області, набори трафіку, час доби і т.д.) і вибір відповідного виміру KPI;
- використання мобільних агентів в мобільних пристроях для уточнення результатів;
- отримання загального QoE з KPI для кожного окремого сервісу та їх сукупності.

Друга методика полягає у встановленні відповідності метрикам продуктивності QoS певних метрик QoE, відчутних користувачеві. Ці виміри QoS отримані, використовуючи NMS, шляхом збору KPI з мережних елементів та їх порівняння з орієнтовними рівнями QoE. Цей процес включає:

- ідентифікацію залежностей між KPI QoS та їх впливом на QoE;
- вимірювання KPI QoS в мережі;
- розрізнення користувацького QoE через виміряні KPI, використовуючи певні правила встановлення відповідностей;

Оптимізація. Оптимізація коміркової мережі може розглядатись як процес, спрямований на покращення загальної якості мережі, яка сприймається мобільними користувачами, і на забезпечення ефективного використання мережних ресурсів. Цей процес включає вимірювання продуктивності, аналіз результатів вимірювань і покращення мережної конфігурації згідно цих результатів. Процес оптимізації може бути задіяний з декількох причин, типовими з яких є:

- Наявність нових технологій, елементів чи функціоналу для конкретно взятої мережі;

- Зміна ситуації в інших сегментах, з якими взаємодіє мережа, що розглядається;
- Виявлення зниження QoS в певній області мережі;
- Як частина повсякденного процесу надання сервісу.

1.4 Аналіз проблеми під час передавання мультимедійного контенту в мережах 4G/LTE

Показники якості роботи мережі характеризують її здатність забезпечувати ефективне обслуговування трафіку, яке, у свою чергу, залежить від низки суто технічних показників. Нормативне значення цих технічних показників, які характеризують можливість відмови технічних засобів, а також здатність наявного обладнання мережі обслуговувати трафік певної інтенсивності, задається на стадіях планування та проектування мережі. Як показав проведений аналіз, у процесі визначення цих нормативних показників враховуються можливі втрати оператора та споживача, пов'язані з відмовою технічних засобів, а також – з недостатньою забезпеченістю мережі ресурсами та можливостями, які зіставляються з додатковими витратами на підвищення надійності та пропускної здатності мережі.

З проведеного аналізу випливає, що існує ряд методів та засобів забезпечення якості обслуговування в мережі LTE, однак їх функціональні можливості обмежуються або радіомережею eUTRAN, або ж базовою мережею SAE.

Висновки до розділу

Мультимедіа та гіпермедіа технології інтегрують у собі потужні розподілені освітні ресурси, що здатні забезпечити середовище для формування та розвитку ключових компетентностей, до яких відносяться в першу чергу

інформаційна й комунікативна. Мультимедійна класифікація з точки зору мережі, всі типи носіїв можуть бути класифіковані як в реальному часі (RealTime – RT), так в режимі не реального часу (NonReal-time – NRT).

З проведеного аналізу випливає, що існує ряд методів та засобів забезпечення якості обслуговування в мережі LTE, однак їх функціональні можливості обмежуються або радіомережею eUTRAN, або ж базовою мережею SAE. Тому актуальним науково-практичним завданням є покращення якості сприйняття послуг LTE на основі уніфікованих методів, які функціонують для одного потоку даних одночасно у радіомережі та базовій мережі.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕРЕЖ LTE

2.1 Оцінювання пропускної здатності мережі стандарту LTE

2.1.1 Параметри, що впливають на швидкість стандарту LTE та методи їх оцінювання

Швидкості, які може забезпечити технологія LTE в низхідному і висхідному каналах (від базової станції до мобільного пристрою і назад), залежать від великої кількості важливих параметрів - методу дуплексування каналів, наявного діапазону частот, виду модуляції, методу завадостійкого кодування даних, використання технологій MIMO, витрат ресурсів на управління, тривалості циклічних префіксів і ін.

Попереднє оцінювання параметрів планованої мережі стандарту LTE можна проводити в трьох сценаріях, як показано на рис.2.1:

- окреме з'єднання (Single-Downlink);
- окремий стільник з багатьма користувачами (Single-Cell Multi-User);
- багато стільників з багатьма користувачами (Multi-Cell Multi-User).

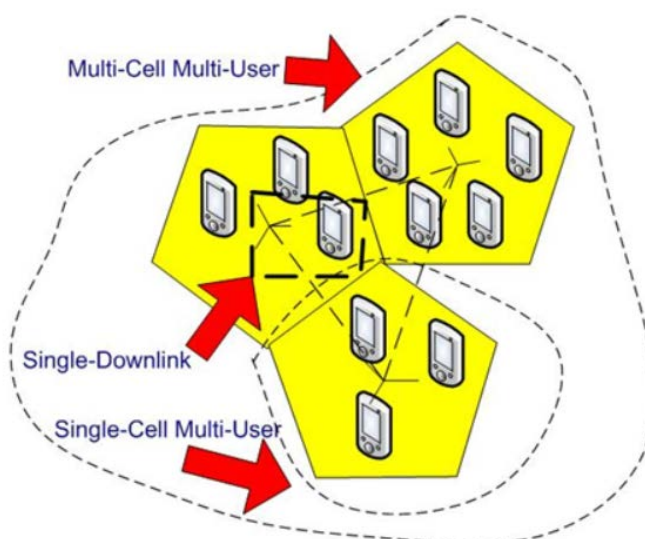


Рисунок 2.1 – Сценарії для оцінювання параметрів планованої мережі стандарту LTE

Single-Downlink - сценарій, в якому оцінюється тільки з'єднання між базовою станцією і абонентським обладнанням одного користувача. З точки зору планування дозволяє досліджувати параметри службових і призначених для користувача каналів, а також ефективність алгоритмів MIMO.

Single-Cell Multi-User - сценарій, в якому оцінюються з'єднання з потенційно активними користувачами в межах одного стільника. Дозволяє додатково досліджувати параметри радіомережі з урахуванням внутрішньої завантаженості мережі і процедур планування радіо ресурсів, а також ефективність багатокористувацьких режимів MIMO.

Multi-Cell Multi-User - сценарій, в якому оцінюються основні параметри всієї мережі. Дозволяє досліджувати всі параметри реальної радіомережі з урахуванням внутрішньо системних перешкод від суміжних сот.

2.1.2 OFDMA і SC-FDMA

Принципово новим рішенням для радіоінтерфейсу LTE стало використання нових методів множинного доступу - OFDMA в низхідному каналі (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) і SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) - у висхідному. Важливо, що весь наявний спектр розбивається на ортогональні піднесучі по 15 кГц (в низхідному каналі), кожна з яких в свою чергу модулюється певним видом модуляції (від QPSK до QAM64). 12 піднесучих - мінімальна смуга, що виділяється для одного абонента. Використання багатопозиційних методів модуляції вимагає каналів з високим рівнем відношення сигнал / шум, погіршення радіо умов призведе до зниження порядку модуляції, а, відповідно, і швидкості передачі даних. Таким чином, при поганих радіо умов максимальні швидкості передачі даних в низхідному каналі можна розділити на 3 (при QPSK одночасно передаються 2 біти інформації, при QAM64 - 6 біт).

Крім порядку модуляції важливо брати до уваги і схему завадостійкого кодування. Наприклад, кодування зі швидкістю $\frac{1}{2}$ ще в 2 рази знижує швидкості передачі даних.

2.1.3 Масштабованість ширини частотного каналу в LTE

Найважливішою особливістю мереж LTE є масштабованість займаного ними частотного спектра від 1.4 до 20 МГц (можливі смуги - 1.4, 3, 5, 10, 15 і 20 МГц), яка сприяє швидкому впровадженню технології в умовах обмеженості радіоресурсів. Очевидно, що, чим ширше смуга, тим більше будуть швидкості. Нижче в таб. 2.1 наведені співвідношення між шириною смуги і кількістю, піднесучих і ресурсних блоків (ресурсний блок - це 12 піднесучих в частотній області і один тайм-слот або 7 OFDM-символів в тимчасовій області).

Таблиця 2.1 - Співвідношення між шириною смуги частот і числом ресурсних блоків

Смуга, МГц	4	3	5	10	15	20
Кількість піднесучих	2	180	300	600	900	1200
Кількість ресурсних блоків	6	15	25	50	75	100

2.1.4 MIMO в LTE

Важливим фактором при оцінці можливостей LTE є застосування технології MIMO (Multiple Input Multiple Output). Існують кілька варіантів застосування MIMO - для збільшення абонентської ємності, при цьому з різних антен передається різна інформація, і для поліпшення покриття. В останньому випадку з декількох антен передається одна і та ж інформація, що дозволяє абонентським пристроєм комбінувати сигнал з різних антен, покращуючи його якість. Як правило для збільшення абонентської ємності, оператори використовують першу опцію MIMO. У цьому випадку використання MIMO 2x2 (NMIMO = 2 - порядок MIMO) призведе до збільшення швидкості передачі даних в низхідному каналі вдвічі. Однак реалізація такої схеми потребуватиме

додаткових частотно-часових ресурсів для передачі опорних пілот-сигналів антен.

2.1.5 Канали управління в LTE

Інформація, передана до радіоінтерфейсу, ділиться на службову інформацію, яка транслюється по різних каналах управління, і на призначені для користувача дані каналу PDSCH (Physical Downlink Shared Channel).

Радіоінтерфейс LTE підтримує як частотне, так і тимчасове дуплексування висхідного і низхідного каналів (FDD і TDD), що дозволяє розгортати мережі навіть при відсутності спарених діапазонів. Так як більшість операторів, які запустили LTE, мають спарені смуги частот, то в рамках даної статті розглянемо особливості саме FDD режиму, його структуру кадру і співвідношення між призначеними для користувача і службовими ресурсами.

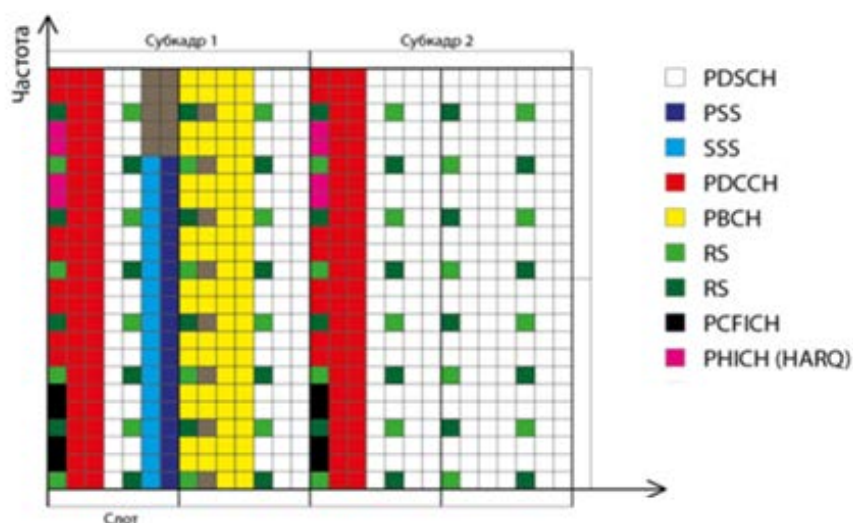


Рисунок 2.2 - Структура кадру LTE в режимі FDD. Фізичні канали LTE.

PDSCH – ресурси користувачів;

PSS – первинна синхронізація;

SSS – вторинна синхронізація;

PDCCH – канал управління;

PBCH – широкомовний канал;

RS – опорний сигнал антени;

PCFICH – індикатор формата.

FDD-кадр LTE складається з десяти субкадрах по 1 мс ($NSFR = 10$). Кожен субкадр складається з двох слотів, всередині яких може бути в залежності від часу поширення (радіуса стільники) або 6 або 7 OFDM-символів або ресурсних елементів. На рис. 2 показаний випадок з невеликим часом поширення (коротким циклічним префіксом, котрий обіймав один OFDM-символ) і відповідно 7 символів в слоті.

Для синхронізації абонентів з мережею в першому субкадрі кожного кадру по каналах первинної і вторинної синхронізації (PSS і SSS) передаються спеціальні послідовності. Вони займають 72 піднесуть (з урахуванням невикористаних ресурсних елементів по краях діапазону) - 72 OFDM-символу. У табл. 2.2 наводиться опис фізичних каналів управління із зазначенням обсягу витрачених на них частотно-часових ресурсів. NRB - число ресурсних блоків.

Таблиця 2.2 - Призначення основних каналів управління і обсяг витрачених на них ресурсів

Фізичні канали в низхідному напрямку	Призначення	Обсяг витрачених частотно-часових ресурсів, РЕ / кадр (ресурсний елемент)
PSS – Primary Synchronization Channel	Визначення фізичного ідентифікацію стільникової мережі	72
SSS – Primary Synchronization Channel	Визначення номера групи ідентифікацію стільникової мережі	72
PBCH – Physical Broadcast Channel	У цьому каналі передається інформація про ширину займаної смуги, номер кадру, а також конфігурація PHICH	$72 \cdot 4 = 288$
PDCCH – Physical Downlink Control Channel	Основний канал службової інформації. По ньому передається велика частина системної інформації, дані про розподіл ресурсів спадного і висхідного каналів між	От $NSFR \cdot NRB \cdot 12$ (min)-NPCFICH-NPHICH до $NSFR \cdot NRB \cdot 12 \cdot 3$ (max)-NPCFICH-NPHICH

	абонентами і т.д.	
RS – Reference Signal	Пілот сигнал. При використанні MIMO кожна антена передає свої пілот-сигнали	NSFR* NRB*4* NMIMO
PCFICH – Physical Control Format Indicator Channel	Вказує, скільки OFDM-символів займає PDCCH (від 1 до 3)	12
PHICH – Physical HARQ Indicator Channel	Передає інформацію HARQ	12

2.1.6 Вплив параметрів на показники пропускної здатності.

Базова станція LTE – Evolved NodeB (eNodeB), є основною компонентою архітектури мережі радіодоступу (RAN) LTE. Мобільний термінал зазвичай називають обладнанням користувача (UE). Функції eNodeB та UE розподілені у різних рівнях протоколів взаємодії. На рис. 2.3 зображено спрощену схему, яка показує різні рівні і потік даних по низхідному каналу [9, 10, 11, 12].

Дослідимо вплив параметру CQI на функціонування мережі з використанням різних видів модуляцій. Мінімізація CQI, яка досягнута шляхом вирішення оптимізаційної задачі, призводить до збільшення пропускної здатності каналу.

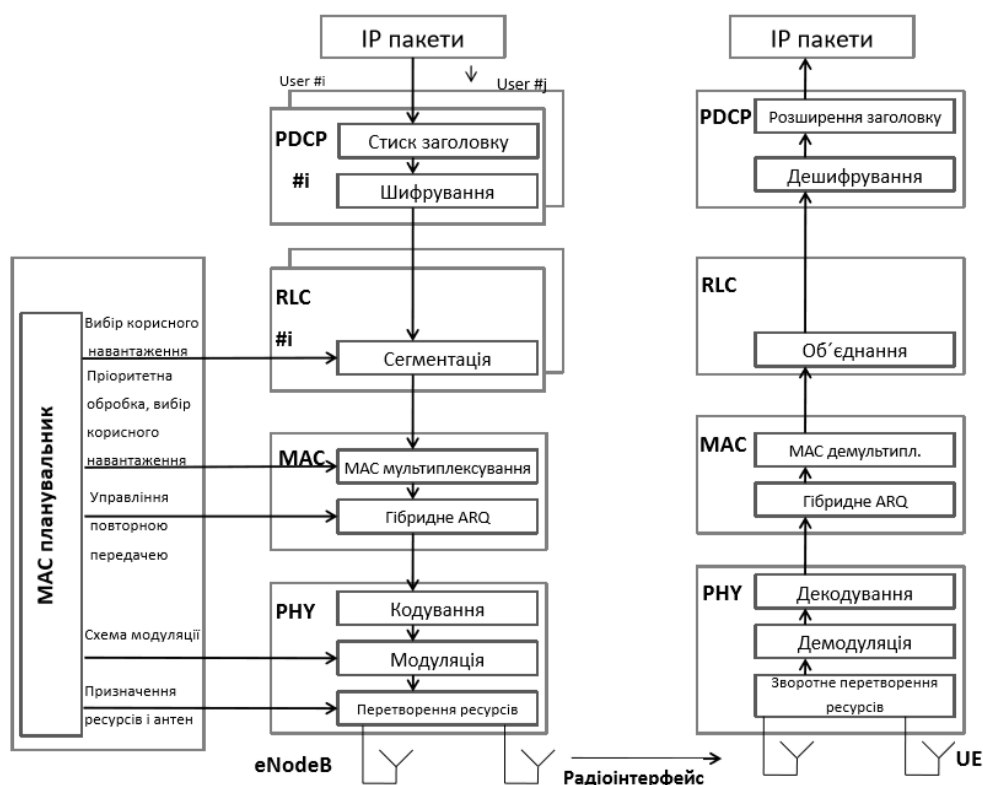


Рисунок 2.3 - Модель міжрівневої взаємодії в LTE

IP пакети входять в стек протоколів на рівні конвергенції протоколів пакетних даних (Packet Data Convergence Protocol(PDCP)) і потоків через стек протоколів, аж до фізичного рівня перед виходом в радіоінтерфейс. В системах коміркового зв'язку якість прийнятого сигналу UE залежить від якості каналу, який обслуговує систему зв'язку, рівня завад від інших систем, а також рівня шуму.

Для оптимізації продуктивності системи та адаптації потужності передавання передавач повинен забезпечити швидкість передачі даних до кожного користувача. Цей процес називають адаптацією каналу, яка базується на адаптивних сигнально-кодових конструкціях (Adaptive Modulation and Coding (AMC)).

2.1.7. Залежність пропускної здатності і індикатором якості каналу

Для передачі даних в низхідному каналі LTE eNodeB зазвичай обирає сигнально-кодові конструкції (Modulation and Coding Scheme (MCS)) залежно від індикатора якості каналу (CQI) зворотного зв'язку, переданого UE у висхідному каналі. Загалом, у відповідь на зворотний зв'язок CQI eNodeB може обирати між QPSK, 16-QAM і 64-QAM модуляціями з широким діапазоном швидкостей кодування. Для передачі у висхідному каналі процес адаптації каналу є аналогічним до цього ж процесу у низхідному каналі, вибір MCS також контролює eNodeB. eNodeB може і безпосередньо винести свою оцінку швидкості передачі даних, яка підтримується у висхідному каналі. Ідентична структура кодування каналу використовується для висхідного каналу, а вид модуляції може бути обраний між QPSK і 16QAM. 64QAM не є обов'язковою для висхідного каналу (LTE-UL). Простий метод, за допомогою якого UE може обрати відповідне значення CQI, заснований на множині порогів Block Error Rate (BLER). UE відправлятиме значення CQI, що відповідатиме MCS, яка забезпечить $BLER \leq 10\%$ для виміряного рівня потужності отриманого сигналу. Перелік сигнально-кодових конструкцій зі значенням CQI, що підтримуються стандартами 3GPP LTE, подано в табл. 2.3. Метою адаптації каналу є підлаштування розподілу ресурсів за умови, що користувач каналу підбирає параметри для передачі, такі як MCS, а також контролює управління потужністю передачі для фізичних каналів для того, щоб уникнути великих коливань якості сигналу і гарантувати необхідну якість обслуговування кожного UE. При передачі у низхідному каналі eNodeB не відомі реальні умови каналу UE, і з цієї причини він може потребувати значення CQI зворотного зв'язку від приймача, і це сприятиме у виборі відповідної MCS. Схеми модуляції, які обрані для LTE, складаються з QAM різних порядків. При використанні модуляції низького порядку eNodeB гарантує більш надійну передачу, але нижчу швидкість. На противагу, при виборі модуляції вищого порядку, eNodeB забезпечує більш високу швидкість передачі даних, але меншу надійність. Кодова швидкість обраної MCS адаптується до умов каналу з метою

підвищення надійності передачі (зменшення імовірності бітової помилки). Для передачі у висхідному каналі eNodeB регулює адаптацію каналу тим самим способом, як і у низхідному каналі, але, замість запиту на значення CQI зворотного зв'язку, він може самостійно оцінити швидкість передачі даних по висхідному каналу, яка підтримується з використанням Sounding Reference Signals (SRS). QPSK та 16-QAM можуть бути обрані як схеми модуляції і для вищої категорії UE, так, як і 64-QAM.

Таблиця 2.3 - Тип модуляції та кодова швидкість для кожного CQI

CQI	Модуляція	Швидкість (x1024)	Ефективність (1/2)
1	QPSK	78	13.13
2	QPSK	120	8.53
3	QPSK	193	5.31
4	QPSK	308	3.32
5	QPSK	449	2.28
6	QPSK	602	1.70
7	16QAM	378	2.71
8	16QAM	490	2.09
9	16QAM	616	1.66
10	16QAM	466	2.20
11	16QAM	567	1.81
12	16QAM	666	1.54
13	16QAM	772	1.33
14	16QAM	873	1.17
15	16QAM	948	1.08

В LTE системі MIMO технології широко використовуються для підвищення пікової швидкості у низхідному каналі системи коміркового зв'язку, а також середньої пропускну здатності системи стільникового зв'язку.

Для досягнення таких цілей, у LTE застосовуються різні системи MIMO, включаючи різні їх підвиди в режимі виділеного доступу SU-MIMO, та множинного доступу MU-MIMO, які показано на рис.2.4. Схема просторового рознесення каналів передавання представлена в конфігурації з двома або чотирма передавальними антенами у низхідному каналі і з двома передавальними антенами у висхідному каналі. Схема кодування із замкнутим контуром 1 рангу використовується для покращення передачі даних х використанням технології SU-MIMO. На основі загального опорного сигналу системи коміркового зв'язку. Виділена схема діаграмо утворення використовується для покращення відношення сигнал/шум при демодуляції даних на основі виділеного опорного сигналу, який підтримується UE [13, 14].

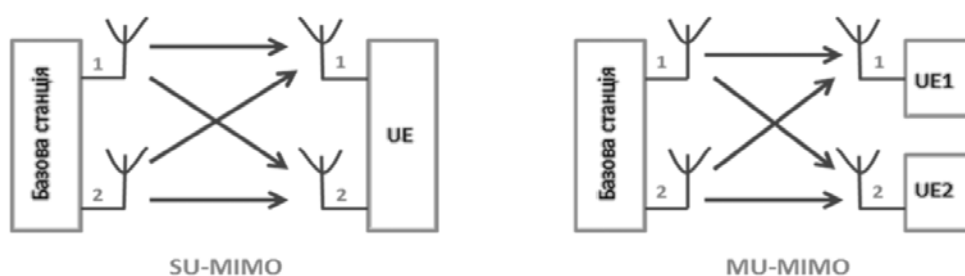


Рисунок 2.4 - SU-MIMO та MU-MIMO

а) Рознесення передачі [15]

SFBC з двома передавальними антенами у низхідному каналі:

$$\begin{matrix} \text{Antenna_0} \\ \text{Antenna_1} \end{matrix} \begin{matrix} \xrightarrow{\text{Subcarrier}} \\ \begin{bmatrix} S_0 & S_1 \\ -S_1^* & S_0^* \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

SFBC + FSTD з чотирма передавальними антенами у низхідному каналі:

$$\begin{matrix} \text{Antenna_0} \\ \text{Antenna_1} \\ \text{Antenna_2} \\ \text{Antenna_3} \end{matrix} \begin{matrix} \xrightarrow{\text{Subcarrier}} \\ \begin{bmatrix} S_0 & S_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_2 & S_3 \\ -s_1^* & s_0^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -s_3^* & s_2^* \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Видозмінено SFBC + FSTD для PHICH з чотирма передавальними антенами у низхідному каналі:

$$\begin{array}{l}
 \text{Type}_1: \begin{array}{l} \text{Antenna}_0 \\ \text{Antenna}_1 \\ \text{Antenna}_2 \\ \text{Antenna}_3 \end{array} \begin{array}{c} \xrightarrow{\text{Subcarrier}} \\ \left[\begin{array}{cccc} S_0 & S_1 & S_2 & S_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S_1^* & S_0^* & -S_3^* & -S_2^* \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \end{array} \cdot \begin{array}{c} \left[\begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_0 & S_1 & S_2 & S_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S_1^* & S_0^* & -S_3^* & -S_2^* \end{array} \right] \end{array} \cdot \begin{array}{c} \left[\begin{array}{cccc} S_0 & S_1 & S_2 & S_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S_1^* & S_0^* & -S_3^* & -S_2^* \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \end{array} \\
 \begin{array}{c} 1^{\text{st}} \text{ repetition} \quad \quad \quad 2^{\text{nd}} \text{ repetition} \quad \quad \quad 3^{\text{rd}} \text{ repetition}
 \end{array} \\
 \\
 \text{Type}_2: \begin{array}{l} \text{Antenna}_0 \\ \text{Antenna}_1 \\ \text{Antenna}_2 \\ \text{Antenna}_3 \end{array} \begin{array}{c} \xrightarrow{\text{Subcarrier}} \\ \left[\begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_0 & S_1 & S_2 & S_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S_1^* & S_0^* & -S_3^* & -S_2^* \end{array} \right] \end{array} \cdot \begin{array}{c} \left[\begin{array}{cccc} S_0 & S_1 & S_2 & S_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S_1^* & S_0^* & -S_3^* & -S_2^* \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \end{array} \cdot \begin{array}{c} \left[\begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_0 & S_1 & S_2 & S_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S_1^* & S_0^* & -S_3^* & -S_2^* \end{array} \right] \end{array} \\
 \begin{array}{c} 1^{\text{st}} \text{ repetition} \quad \quad \quad 2^{\text{nd}} \text{ repetition} \quad \quad \quad 3^{\text{rd}} \text{ repetition}
 \end{array}
 \end{array}$$

Після того, як визначена кількість передавальних антен в eNodeB , застосовується певна схема рознесення при передачі до інших фізичних низхідних каналів. Схеми рознесення при передачі, визначені для низхідного каналу LTE, проілюстровано матрицями. Якщо використовується просторово-часове блокове кодування (SFBC), eNodeB має дві антени. Для eNodeB з чотирма передавальними антенами, використовується поєднання SFBC і FSTD, щоб забезпечити стійкість до кореляції між каналами від різних передавальних антен і для полегшення реалізації приймача UE. Схема рознесення передачі, може бути використана для всіх низхідних каналів, окрім PHICH. Схема рознесення передачі, використовується для цього каналу.

б) Відкритий контур просторового мультиплексування

eNodeB надсилає інформацію запланованій UE про те, що матриця кодування використовується в якості частини інформації управління у низхідному каналі, застосовуючи трибітове поле для двох передавальних антен та шестибітове інформаційне поле для чотирьох передавальних антен. Це інформаційне поле позначено кодуванням передавального індикатора матриці (TRMI). Для підтримки частотно-селективного кодування без надмірно високої сигналізації у низхідному каналі, TRMI також може означати, що матриця кодування, зазначена в останньому PMI від запланованого UE, використовуються для їх відповідних частотних ресурсів. Використання рознесення передачі позначається TRMI. Розімкнений контур просторового мультиплексування може працювати, коли надійний PMI зворотного зв'язку не

доступний в eNodeB, наприклад, коли швидкість UE повільна або за умови, що втрати у висхідному каналі сигналу зворотного зв'язку є занадто високими. Розімкнутий контур просторового мультиплексування з M рівнів та N передавальних антен ($N \geq M$) показано на рис.2.5. Зворотній зв'язок складається з RI і CQI в розімкнутому контурі просторового мультиплексування. На відміну від замкнутого контуру просторового мультиплексування, eNodeB визначає тільки ранг передачі та фіксований набір матриць кодування, які застосовуються циклічно через усі заплановані піднесучі в частотній області.

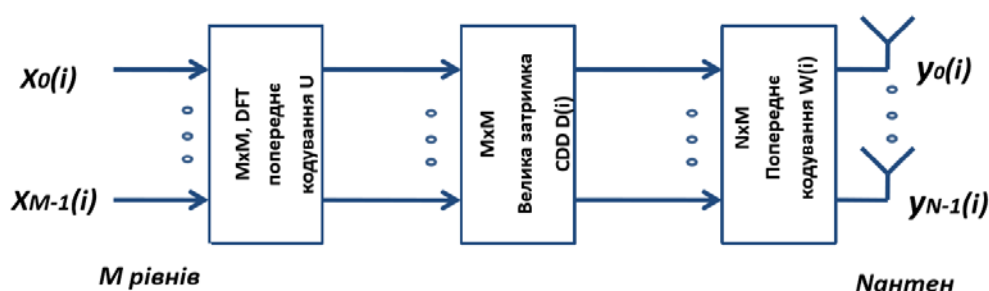


Рисунок 2.5 - Розімкнутий контур просторового мультиплексування з M рівнів та N передавальних антен

в) Замкнутий контур просторового мультиплексування

eNodeB застосовується для кодування переданого сигналу в просторовій області з урахуванням індикатора матриці попереднього кодування (PMI), повідомленого UE, так, що переданий сигнал відповідає просторовому каналу до відповідного UE. Замкнутий контур просторового мультиплексування з M рівнів та N передавальних антен ($N \times M$) зображено на рис. 2.6. Для підтримки просторового мультиплексування в замкнутому контурі низхідного каналу, UE необхідно знати індикатор рангу (RI) зворотного зв'язку, PMI і індикатор якості каналу (CQI) у висхідному каналі. Значення (CQI) зворотного зв'язку вказує комбінацію схеми модуляції та швидкості кодування каналів, які eNodeB повинна використовувати для того, щоб ймовірність появи помилкових блоків на UE не перевищувала 10%

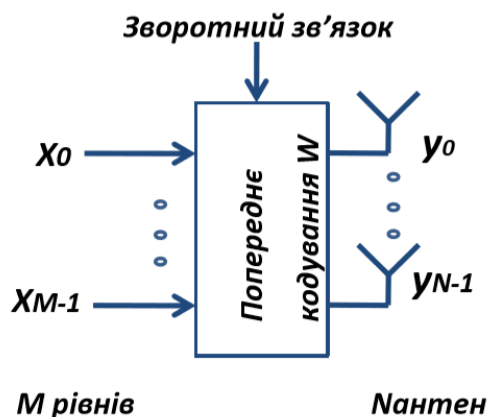


Рисунок 2.6 - Замкнутий контур просторового мультиплексування з M рівнів та N передавальних антен

2.1.8 Дослідження впливу пропускної здатності мережі LTE на показники QoE та QoS

Підвищення якості обслуговування QoS досягається покращенням декількох показників продуктивності мережі, які диференціюють Інтернет потоки. Якість сприйняття QoE – задоволення потреб клієнта мережевих послуг. Таким чином, показники ефективності в параметрах QoS, такі як швидкість, втрата пакетів, затримки та джитер, впливають на QoE користувача. Різні сервіси мають різний набір вимог для мережевих параметрів, таких як джитер, затримка, втрата пакетів і пропускна здатність. QoS – це здатність мережі забезпечити кілька потоків з їх конкретними вимогами. Отже, QoS потребує підтримки виділеної смуги пропускання, покращення характеристик втрат, запобігання і управління перевантаженням мережі та формування і пріоритезації потоків трафіку.

З іншої сторони, QoE забезпечує можливість кількісної оцінки рівня якості сприйняття сервісів абонентами. Це забезпечує деякі засоби для оцінки загального рівня задоволеності клієнта від наданого сервісу, а отже, і оцінки методів покращення, які можуть бути реалізовані у випадку необхідності. QoE може означати різні речі для різних сервісів. Наприклад, аудіододаток може отримати високе значення QoE за рахунок правильності звуку, тоді як високе значення QoE для відеододатку пов'язане з великим та чітким зображенням. В

цілях підтримки якості обслуговування, запропоновано різні алгоритми управління, планування, маркування і розв'язання інших задач, щоб задовольнити певні порогові значення QoS під час сеансу зв'язку. На основі QoS не можна повністю описати і задовольнити якість сприйняття користувача, що вимагає формування методу визначення QoE на основі мережесих параметрів.

При визначенні класів QoS на IMT-2000 заборони та обмеження радіоінтерфейсу повинні бути прийняті до уваги. Механізми QoS, передбачені в IMT-2000 мережі, повинні бути надійними та здатними забезпечити достатній рівень QoS. Запропоновано чотири різних класи QoS:

- розмовний клас;
- потоковий клас;
- інтерактивний клас;
- фоновий клас.

Таблиця 2.4 - Класи QoS для IMT-2000

Клас трафіку	Розмовний клас Розмова в режимі реального часу	Потоковий клас. В режимі реального часу	Інтерактивний клас.	Фоновий клас
Основні характеристики	– Збереження співвідношення (варіації) між інформаційними частинами потоку – Розмовний шаблон (точна та низька	– Збереження співвідношення (варіації) між інформаційними частинами потоку	- Шаблон запиту відповіді – Збереження змісту корисного навантаження	- Пункт призначення не очікує даних протягом певного часу – Збереження змісту корисного навантаження

	затримка)			
Приклад застосування	– Голос	– Потоків відео	– Перегляд вебсторінок	-Фонове завантаження електронних листів

2.2 Визначення просторових параметрів мережі стандарту LTE

2.2.1 Підготовка карти місцевості

Даний етап полягає в підготовці електронної карти місцевості, на якій повинна бути розгорнута LTE мережу. Карта повинна містити дані, що описують рельєф місцевості, забудову території, лісові та водні масиви. У підсумку ми повинні отримати наступну детальну інформацію:

- висоти місцевості;
- землекористування;
- розподілу населення, транспортних потоків і інших факторів, що впливають на щільність трафіку;
- прогнозу числа абонентів;
- вимог до роботи даного продукту для забезпечення відповідної якості радіозв'язку;
- ймовірності блокування;
- бюджету втрат;
- рекомендованих ділянок для розміщення базових станцій, що відповідають вимогам по наявності ліній прив'язки до мережі загального користування, електроживлення, можливості розміщення обладнання, установки антен і ін.
- наявних у розпорядженні смуг частот;
- сумісності з іншими системами;
- мережевих інтерфейсів.

2.2.2 Вибір варіанту планування мережі LTE

Існують два основні варіанти планування мереж: з метою формування максимальної площі покриття або з метою забезпечення необхідної ємності. Ці завдання часом суперечать один одному. Наприклад, в міських умовах при високій щільності абонентів зони обслуговування базових станцій (БС) по площі набагато менше максимально можливої, але оптимізовані по пропускній здатності. У сільській місцевості часто ситуація - протилежна, щільність абонентів - невисока, і базові станції встановлюються на максимальному видаленні один від одного так, щоб закрити кожної БС максимальну територію. Але і в тому і в іншому випадку оцінюють як радіо покриття, так і ємність мережі для того, щоб виявити в проєкті мережі фактори, що обмежують її характеристики.

Після визначення типу планування можна розрахувати бюджет втрат (показник, що характеризує допустимі втрати в радіолінії для заданого стандарту стільникового мобільного зв'язку).

Розглянемо приклад розрахунку бюджету втрат при наступних параметрах:

Оберіть тип даних - VoIP, швидкість передачі: 39,7 кбіт / с

Δf системи: 10 МГц

Висоти підйому антени абонентських станцій 1,5 м, а базових станцій 30 і 50 м в міській та приміській зоні відповідно.

Максимально допустимі втрати при поширенні в каналі можна обчислити за формулою

$$L = P_{TX} + G_{TX} - P_{RX} - B_{BODY} + G_{RX} - B_{fid} - IM - L_{slow}$$

де P_{TX} - потужність передавача, G_{TX} - коефіцієнт посилення передавальної антени, P_{RX} - чутливість приймача, B_{BODY} - втрати в тілі абонента, G_{RX} - коефіцієнт посилення приймальної антени, B_{fid} - втрати в фідері, IM - запас по інтерференції, L_{slow} - запас на повільні завмирання, береться рівним 10,3 дБ.

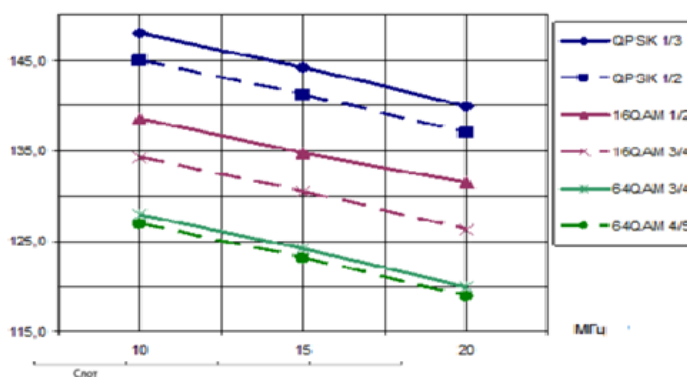


Рисунок 2.7 - Залежність величини допустимих втрат від смуги частот каналу

З рис.2.7 видно, що збільшення смуги частот каналу призводить до зменшення допустимих втрат і для збереження енергетичного балансу між каналами «вгору» і «вниз» необхідно обмежувати кількість ресурсних блоків, що припадають на абонентську станцію:

- При смузі частот каналу 10 МГц допустимі втрати знаходяться в межах в (125,8 - 148 дБ) і доцільно обмежувати кількість ресурсних блоків, що виділяються абонентської станції, до 4.

- При ширині смуги частот каналу 15 МГц допустимі втрати знаходяться в межах в (121,8 - 144,2) дБ і доцільно обмежувати кількість ресурсних блоків, що виділяються абонентської станції, до 8.

- При ширині смуги частот каналу 20 МГц допустимі втрати знаходяться в межах в (117,8 - 139,9) дБ і доцільно обмежувати кількість ресурсних блоків, що виділяються абонентської станції, до 16.

2.2.3 Побудова вихідної мережі (мережі початкового наближення)

При побудові початкового наближення LTE мереж в діапазоні 2300 - 2400 МГц доцільно застосовувати модель MCE-R P.1546 "Метод прогнозування для трас зв'язку« пункту з зоною »для наземних служб діапазоні частот від 30 МГц до 3000 МГц", яка містить:

- криві поширення і відповідні таблиці в електронному вигляді.

- для частот і висот підвісу антен, відмінних від наведених на кривих поширення, напруженість поля обчислюється методом інтерполяції за наведеними в рекомендації формулами.

- для міських умов вводяться відповідні поправки.

На цьому етапі вся мережа декомпозірується на однорідні фрагменти на основі значень щільності трафіку, стосовно яких перебувають розподілу базових станцій по зонах обслуговування, параметри базової мережі і розподіл частотного ресурсу (кодових зрушень). При побудові мережі початкового наближення передбачаються такі припущення:

- щільність абонентського трафіку по території обслуговування постійна;
- стільники однакових розмірів;
- активність абонентів постійна від однієї стільники до іншої;
- забезпечується швидке управління потужністю передавачів, як в зворотному, так і в прямому напрямках зв'язку;
- морфоструктура місцевості однотипна;
- параметри приймально-передавальних станцій однакові.

Такий підхід до побудови мережі (на основі абонентської ємності) призводить до однакових розмірів сот в межах фрагмента мережі і необхідності вирішення завдань зі стикування неоднорідних фрагментів мережі на їхніх кордонах, тобто до необхідності вирішення завдань по розщепленню сот. При використанні розщеплення можливо два типи сот: з однаковими секторами («великі» і «малі» стільники) і з різними секторами («перехідні» стільники).

Рішення, отримане на даному етапі мережі, є найважливішим етапом планування і має представляти собою частотно-територіальний план мережі радіозв'язку, який може бути використаний в якості мережі початкового наближення.

Висновки до розділу

У розділі представлено математичні моделі підвищення пропускної здатності безпроводового каналу LTE з використанням різних видів модуляції та швидкостей кодування, моделей каналу, видів інформування про стан каналу з урахуванням моделі адитивного білого гаусівського шуму, що, у підсумку, дає змогу підвищити якість обслуговування.

Представлено методи об'єктивної та суб'єктивної оцінки QoE та QoS з урахуванням відомих чотирьох класів якості обслуговування.

Метою розділу є формування методології оцінки впливу компонентів каналу LTE на його пропускну здатність, якість обслуговування та якість сприйняття послуг на фізичному рівні та розроблення основи для удосконалення відомих методів та моделей.

3 ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕДАВАННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО КОНТЕНТУ В МЕРЕЖАХ 4G/LTE

3.1 Удосконалення архітектури мережі LTE

3.1.1 Архітектура мережі LTE

Мережа LTE побудована як сукупність нових базових станцій eNB (Evolved NodeB або eNodeB), де сусідні eNB з'єднані між собою інтерфейсом X2. eNB підключені до EPC за допомогою інтерфейсу S1. На рис.3.1 показано взаємодію нових елементів в архітектурі мережі: S-GW (Serving Gateway) - обслуговують шлюзів, що містять ПО управління по протоколу MM (MME - Mobility Management Entity).

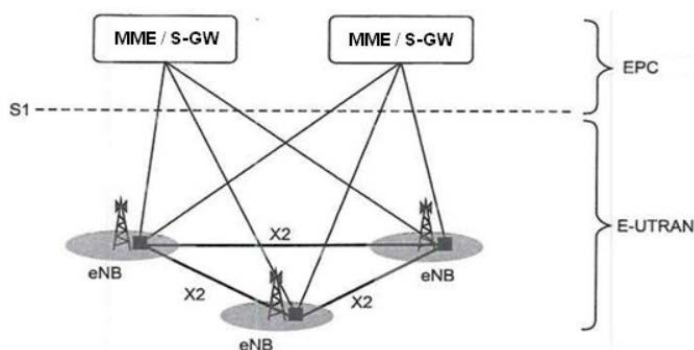


Рисунок 3.1 - Спрощена архітектура мережі LTE

У мережі радіо доступу радіоінтерфейс між UE і eNB здійснений на основі технології ортогонального частотного рознесення (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDMA). Робота EPC заснована на технології IP. Таку структуру відносять до All-IP Network (AIPN).

3.1.2 Структура мережі LTE

Структура мережі LTE приведена на рис.3.2. Ядро мережі EPC (Evolved Packet Core) складається з обслуговуючого шлюзу S-GW (Serving Gateway), шлюзу для виходу на пакетні мережі P-GW (Packet Data Network Gateway), структури управління по протоколу Mobility Management MME (Mobility Management Entity), пов'язаної з S-GW і eNodeB сигнальними інтерфейсами.

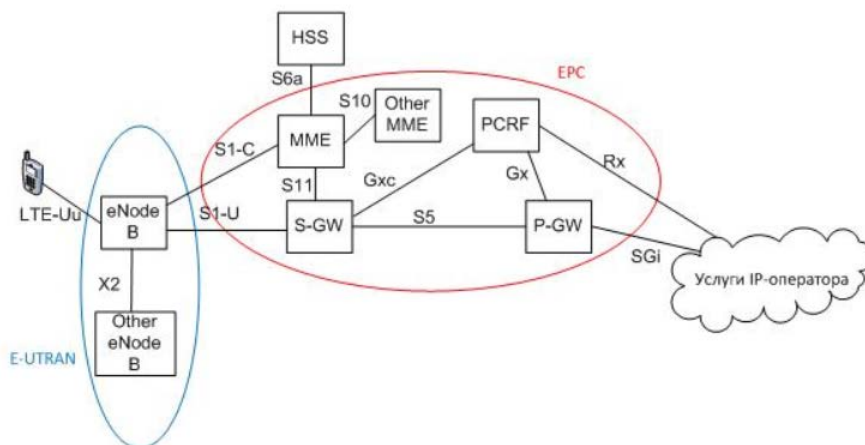


Рисунок 3.2 - Структура мережі LTE

Функції eNodeB (Evolved NodeB)

eNodeB об'єднує в собі функції базових станцій і контролерів мереж 3-го покоління:

- забезпечує передачу трафіку і сигналізації по радіоканалу,
- управляє розподілом радіо ресурсів,
- забезпечує наскрізний канал трафіку до S-GW,
- підтримує синхронізацію передач і контролює рівень перешкод в соті,
- забезпечує шифрування і цілісність передачі по радіоканалу,
- вибирає MME і організовує сигнальний обмін з ним,
- виробляє стиснення заголовків IP-пакетів,
- підтримує послуги мультимедійного мовлення,
- при використанні структури з підсилювачами потужності на антенною щоглі організовує управління антенами за спеціальним інтерфейсу Iuant.

Інтерфейс S1, як показано на рис.3.2, підтримує передачу даних з S-GW і сигналізації через MME. Відзначимо, що eNB може мати з'єднання з декількома S-GW.

Інтерфейси X2 використовують для організації хендOVERа між сусідніми базовими станціями, в тому числі і при балансуванні навантаження між ними. При цьому інтерфейси X2 можуть бути логічними, тобто для їх організації не обов'язково реальне фізичне з'єднання між eNB.

Функції обслуговуючого шлюзу S-GW:

- маршрутизація переданих пакетів даних,
- установка якісних показників (Quality of Service, QoS) послуг, що надаються,
- буферизація пакетів для UE, які перебувають в стані Idle Mode,
- надання облікових даних для тарифікації та оплати виконаних послуг.

S-GW є якірної структурою, що забезпечує мобільність абонентів. Кожну працюючу UE обслуговує певний S-GW. Теоретично UE може бути пов'язана з декількома пакетними мережами; тоді її будуть обслуговувати кілька серверів S-GW.

Функції P-GW (Packet Data Network Gateway)

Шлюз для виходу на пакетні мережі P-GW організовує точку доступу до зовнішніх IP-мереж. Відповідно P-GW є якірним шлюзом для забезпечення трафіку. Якщо абонент має статичний IP-адресу, то P-GW його активізує. У разі, якщо абонент повинен отримати на час сеансу зв'язку динамічний IP-адресу, P-GW запитує його з сервера DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) або сам виконує необхідні функції DHCP, після чого забезпечує доставку IP-адреси абонента. До складу P-GW входить PCEF (Policy and Charging Enforcement Function), який входить забезпечує якісні характеристики послуг на зовнішньому з'єднанні через інтерфейс Sgi і фільтрацію пакетів даних. При обслуговуванні абонента в домашній мережі функції P-GW і S-GW можуть виконувати як два різних, так і один пристрій. Інтерфейс S5 являє собою тунельний з'єднання GPRS або Proxy Mobile Ipv6. Якщо P-GW і S-GW знаходяться в різних мережах (наприклад, при обслуговуванні абонента в роумінгу), то інтерфейс S5 замінюють інтерфейсом S8.

Функції MME (Mobility Management Entity)

Керуючий блок MME насамперед підтримує виконання процедур протоколу Mobility Management: забезпечення безпеки роботи в мережі при підключенні UE і вибір S-GW, P-GW. MME пов'язаний з HSS своєї мережі за допомогою інтерфейсу S6a. Інтерфейс S10, що з'єднує різні MME, дозволяє

обслуговувати UE при переміщеннях абонента, а також при його знаходженні в роумінгу.

Функції PCRF

Policy and Charging Resource Function (PCRF) по суті являє собою керуючий сервер, що забезпечує централізоване управління ресурсами мережі, облік і тарифікацію послуг, що надаються. Як тільки з'являється запит на нове активне з'єднання, ця інформація надходить на PCRF. Він оцінює наявні в його розпорядженні ресурси мережі й направляє в PCEF шлюзу P-GW команди, які встановлюють вимоги до якості послуг і до їх тарифікації.

3.2 Особливості та параметри технології LTE-MIMO

Ресурс для передачі даних LTE складається з частот, простору і часу. Усі одиниці часу в LTE зводяться до параметра $T_s = 1 / (15000 \times 2048)$, в якому 2048 – довжина ШПФ. Фрейм LTE для низхідного та висхідного каналу становить $307200 \times T_s = 10$ мс. Фрейм складається з 10 субкадрів ($30720 \times T_s = 1$ мс) в FDD і двох підкадрів (тривалістю $153600 \times T_s = 5$ мс) в TDD а підкадр ділиться на чотири субкадри і спеціальний субкадр або п'ять субкадрів у залежності від періодичності перемикування напрямів передавання. Спеціальний субкадр існує в другому підкадрі. Структура кадру TDD може бути різною: існує сім різних форматів субкадрів. Субкадр 0 і 5, як і DwPTS зарезервовані для низхідного каналу. Субкадр, який з'являється після спеціального субкадру, а також UpPTS завжди призначається висхідному каналу. Кожен субкадр і в FDD, і в TDD має два слоти тривалістю $15360 \times T_s = 0,5$ мс. У частотній області 12 піднесучих згруповані разом і становлять ресурсний блок (RB) в одному слоті. Таким чином, ресурсний блок займає 180 кГц в частотній області і 0,5 мс в часовій області. З урахування смуги пропускання системи є від 6 до 110 RB, доступних для передачі даних. Функціонування режиму TDD забезпечує сім різних конфігурацій субкадр, в режимі 5 найбільш імовірно призначення субкадру низхідному каналу. У режимі 0 – висхідному каналу. При роботі TDD

для перемикавання між низхідним і висхідним каналами є захисний період в спеціальному субкадрі, що забезпечує додатковий час для висхідного каналу. У подальшому представлено більш детальне дослідження особливостей формування каналу передавання у системі LTE-MIMO [16, 17].

3.2.1. Алгоритми формування пропускної здатності LTE на фізичному рівні

На основі смуги пропускання системи, яка коливається від 1,4 до 20 МГц, доступна різна кількість фізичних ресурсів кадру. Фізичні канали та опорні сигнали розподіляються до цих ресурсів. Розрахувавши навантаження опорних сигналів, які фактично не несуть інформацію до вищих рівнів і каналів управління, які передають інформацію керування, можна визначити кількість ресурсних елементів, виділених для передачі. На основі різних схем модуляції, швидкості коду і кількості портів антени, може бути розрахована пропускна здатність для каналів передачі даних. Під час роботи TDD є сім конфігурацій для мультиплексування передачі даних в часовій області низхідного і висхідного каналів, які призводять до різних значень пропускної здатності в заданій смузі частот каналу.

Базуючись на тому, що низхідний канал – службовий канал управління, в підкадрі – 2 OFDM символи, і 0.93 – кодова швидкість, максимальна пропускна здатність низхідного та висхідного каналів 130 Мбіт/с та 40 Мбіт/с відповідно. Нижче наведено це в математичному вираженні для пропускної здатності каналу C:

$$C = \log_2(1 + SNR),$$

А для вираження MIMO:

$$C = \max_{tr(R_{xx})=P_T} \log \det \left\{ I_N + \frac{1}{\sigma_n^2} H R_{xx} H^H \right\},$$

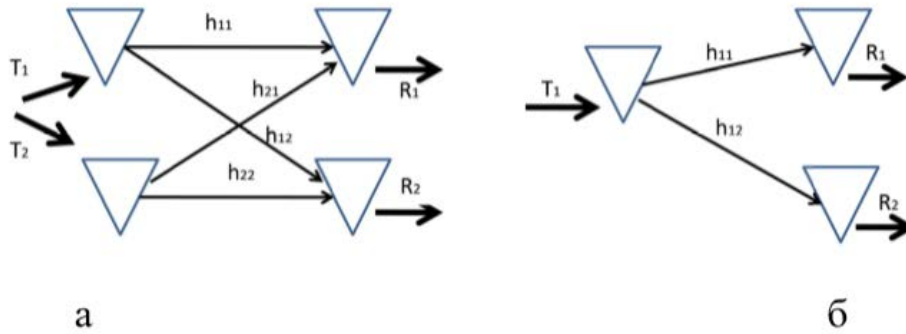


Рисунок 3.3 - а) MIMO канал; б) SIMO канал.

На рис. 3.3 показано, як визначається розділення антени за взаємною кореляційною функцією антени з використанням моделі Джейкса. Приймальна антена також є частиною одного блоку MIMO каналу, та може описана як:

$$R=HS+N.$$

Це формулювання підходить для передачі та прийняття сигналів-векторів. Імпульсна характеристика каналу h тепер є у вигляді матриці H . Матриця H для багатопроменевого та каналу з ефектом Доплера матиме вигляд:

$$\begin{bmatrix} h_{11}(\tau, t) & h_{12}(\tau, t) & \dots & h_{1N_T}(\tau, t) \\ h_{21}(\tau, t) & h_{22}(\tau, t) & \dots & h_{2N_T}(\tau, t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R,1}(\tau, t) & h_{N_R,2}(\tau, t) & \dots & h_{N_R N_T}(\tau, t) \end{bmatrix}.$$

Кожен її елемент є функцію не тільки часу t , тому що мобільний термінал рухається, але й затримки у порівнянні з іншими каналами. Коливання вказують на відносні затримки між кожною компонентою, яка викликала порушення частоти. Часова змінна показує, як змінюється в часі характер каналу. Якщо $s_i(t)$ - переданий сигнал і $r_i(t)$ - прийнятий сигнал, тоді модель загального MIMO каналу матиме вигляд:

$$r_i(t) = \sum_{j=1}^{N_T} \int_{-\infty}^{\infty} h_{ij}(\tau, t) S_j(t - \tau) d\tau = \sum_{j=1}^{N_T} h_{ij}(\tau, t) * S_j(\tau),$$

Де $i = 1, 2, \dots, N_R$.

Рівняння каналу для прийнятого сигналу $r_i(t)$ виражається як згортка каналної матриці H і переданого сигналу через змінну затримку. Нижче наведено це у матричній формі:

$$R(t) = H(\tau, t) \otimes S(t).$$

У цьому випадку, матриця H змінюється випадковим чином в часі. Якщо зміни в часі дуже повільні (нерухомі приймач і передавач), настільки, що тривалість передавального блоку більша, ніж декількох символів, можна припустити, що цей канал буде статичним.

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N_T} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2N_T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R,1} & h_{N_R,2} & \dots & h_{N_R,N_T} \end{bmatrix}.$$

Тоді прийнятий сигнал може бути визначений як:

$$r(t) = H \otimes s(t).$$

Елементи матриці H можуть бути як дійсними, так і комплексними числами. Для проведення подальший досліджень слід прийняти, що матриця H є незмінною протягом тривалості одного або декількох символів, а потім змінюється випадково. Такі швидкі зміни призводять до інтенсивних змін співвідношення сигнал/шум. Однак, припущення про стаціонарність каналу протягом певного часу дає змогу спростити декодування, бо у цьому разі декодеру не потрібно знати особливості коливання значень сигнал/шум, і канал може вважатися квазістатичним у межах тривалості блоку даних, подібно до систем з часовим розділенням каналів. Поведінка каналу є статичною щонайменше протягом тривалості блоку даних. Кожну версію матриці H називатимемо її реалізацією. Швидкість зміни цих реалізацій залежить від стану безпроводного каналу. Для визначення спектральної ефективності такої системи за умови конфігурації каналу SIMO використаємо співвідношення.

$$C_{SIMO} = \log_2(1 + \|h\|^2 SNR) \text{ bits/s/Hz}$$

Де h – вектор стану просторового каналу.

З урахуванням різних моделей завад у каналі проведено моделювання для оцінки залежності спектральної ефективності безпроводного каналу від співвідношення сигнал/шум на вході приймача мобільної станції.

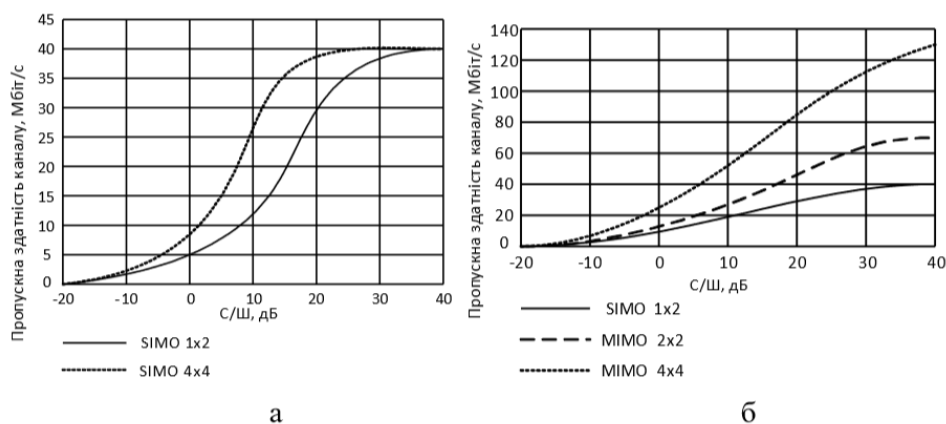


Рисунок 3.4 - Залежність пропускної здатності каналу від співвідношення сигнал/шум на вході приймача у системі LTE для низхідного каналу (а) та висхідного каналу (б).

Канал містить N_R шляхів, а, отже, максимальний виграш у пропускній здатності обмежується коефіцієнтом $h^2 = N_R$ з урахуванням припущення, що передавачу не відомий стан каналу.

3.2.2. Формування пропускної здатності на основі вибору порту антени і кількості OFDM символів для різної смуги каналів «вгору» і «вниз»

Пропускна здатність (ПЗ) на фізичному рівні розраховується для різних сценаріїв. Для того, щоб визначити ПЗ фізичного рівня, необхідно розрахувати загальну кількість фізичних ресурсів, які доступні для різних смуг пропускання у висхідному та низхідному каналах передачі [18, 19]. З іншого боку, необхідно визначити, яка кількість фізичних ресурсів пов'язана з втратами. Досяжні на фізичному рівні значення пропускної здатності 100 Мбіт/с, 150 Мбіт/с і 300 Мбіт/с для 1, 2, 4 портів антени відповідно. На підставі доступної ширини смуги пропускання системи (від 1,4 до 20 МГц), числа портів антени, кількості OFDM символів, призначених для PDCCH(1, 2, чи 3 символів у підкадрі), кодової швидкості (0.33 – 0.92), і методу модуляції (QPSK, 16-QAM, чи 64-QAM), можуть бути отримані різні значення пропускної здатності. Для передачі по низхідному каналу, eNB визначає, яка модуляція і кодова швидкість будуть використовуватись на основі CQI, що передається від UE. eNB також може

оцінити швидкість коду та схему модуляції за допомогою опорного зонduючого сигналу SRS. Отже, LTE надає перевагу техніці адаптивних модуляції та кодування AMC, яка базується на якості сигналу, певній схемі модуляції та кодовій швидкості, обраній для передачі даних. AMC є постійною для виділених для користувача ресурсних блоків; однак різні користувачі можуть мати різні модуляції та швидкості коду. Окрім того, для мультиантенної передачі, кожен просторовий канал може використовувати незалежну модуляцію і кодову швидкість. Розрахунок пропускної здатності базується на передачі по висхідному та низхідному каналах, і не включає в себе будь яку інформацію управління. PDCCH може займати 1-4 OFDM символи в низхідному каналі, отже в PDCCH службова інформація коливається від 2.3% (один OFDM символ у випадку 4-портів антени та смуги пропускання 20 МГц) до 27% (чотири OFDM символи у випадку 1-порту антени та смуги пропускання 1.4 МГц). Опорні сигнали відображаються ресурсними елементами в залежності від кількості портів антени. Для одного порту антени, опорний сигнал становить 4,7%; це навантаження зростає до 9,5% і 14% у разі двох і чотирьох портів антени, відповідно. Основний сигнал синхронізації для P-SS і S-SS можна вважати 1.4% (для смуги пропускання 1.4 МГц) і 0.085% (для смуги пропускання 20 МГц), як мінімальне та максимальне значення. Основні втрати, пов'язані з PBCH, можуть становити 2.7% – 0.14% від пропускної здатності каналу. Слід зазначити, що для шести ресурсних блоків мінімальними і максимальними OFDM символами, зайнятими PDCCH є 2 та 4. Тим не менше, в результаті реконфігурації PDCCH, кількість OFDM символів може бути збільшена до 6. Максимальна пропускна здатність на фізичному рівні може бути розрахована шляхом застосування схем кодування і модуляції каналу для ресурсних елементів, доступних для передачі даних. Наприклад, максимальна пропускна здатність у випадку 1-портової антени, одного OFDM символу, призначеного для PDCCH, 64-QAM модуляції та кодової швидкості 0.85, становить 75,31 Мбіт/с. Якщо використовується антена з 2 портами,

максимальна пропускна здатність досягає 144,595 Мбіт/с. Максимальна пропускна здатність для антени з 4 портами і кодовою швидкістю 0.92 досягає 299,122 Мбіт/с. Максимальна пропускна здатність у висхідному каналі може бути отримана шляхом застосування схем модуляції і канального кодування. Наприклад, у випадку смуги пропускання системи 20 МГц, 64-QAM модуляції та кодової швидкості 0.85, максимальна пропускна здатність у висхідному каналі буде 71,97 Мбіт/с. У процесі роботи TDD існує сім різних конфігурацій для передачі даних у висхідному та низхідному каналах. Конфігурація MOD 0 організує найбільшу кількість підкадрів у висхідному каналі (в цілому шість підкадрів); однак, в MOD 5 найбільша кількість підкадрів виділяється для передачі у низхідному каналі (8 підкадрів). Максимум PDSCH та PUSCH ресурсних елементів може бути досягнуто як з MOD 5, так і з MOD 0 відповідно. Дані результати отримано з використанням поєднання технологій SU-MIMO і MU-MIMO, які представлено у другому розділі.

3.2.3 Підвищення пропускної здатності на основі узгодженого планування міжрівневої взаємодії в системі LTE з урахуванням QoS

QoS, як правило, визначається з точки зору мінімальної швидкості чи максимальної затримки. Параметри QoS можуть бути класифіковані відповідно до їх технічних реалізацій в системах LTE.

- Така класифікація може мати ієрархічну структуру трьох різних рівнів: рівень бітів, рівень пакетів і рівень виклику. Дана класифікація називається категорією технічних параметрів QoS.
- QoS рівня бітів. Для забезпечення цілісності швидкості передачі, цільове значення BER для кожного користувача не потрібне. Досягнення необхідного SIR гарантує цільове BER для цього користувача.
- QoS рівня пакетів. У випадку даних реального часу, таких як голосова та відео конференції, які чутливі до затримки, кожен пакет повинен бути переданий в межах нормованої затримки пакета. Процедури планування

можна досягти різними службами QoS, де параметри передачі визначаються відповідно до класу QoS та стану каналу.

- QoS рівня виклику. В системі стільникового зв'язку LTE, прийом виклику в системі залежить від ємності та типу виклику (новий чи хендовер).

3.2.4 Оцінка стану безпроводового каналу з використанням моделі ланцюга Маркова із скінченною кількістю станів

У якості моделі SINR використаємо наступне співвідношення, яке відображає густину імовірності SINR для релеєвського багатошляхового каналу з повільними завмираннями сигналу:

$$p(\gamma_i) = 1/\gamma_o e^{\frac{-\gamma_i}{\gamma_o}}$$

Де $\gamma_o = E\{\gamma_i\}$ - середнє значення відношення сигнал/шум.

Застосування моделі полягає у наступному: значення SINR, яке знаходиться у визначеній множині станів K , перейде у стан $K+1$ за умови, що безпроводовий канал для активного з'єднання i перебуває у стані S_k .

Припускаючи, що канал має повільні завмирання відносно зворотного зв'язку CQI повідомляють цикл і наявний ефект Доплера (f_d) на носійній частоті (f_c), при цьому $f_d = v f_c / c$, можна визначити порогові значення SINR, використовуючи імовірність перебування у стані і переходу між станами. Для практичного використання такого підходу запропоновано використовувати табл.3.1, яка однозначно визначає порогові значення С/Ш, які відповідають значенням CQI. У випадку застосування моделі прогнозування CQI застосування даної таблиці дає змогу адаптувати метод передавання даних в каналі до його стану без необхідності опитування мобільних станцій. З цією метою використовуємо модель ланцюга Маркова з скінченною кількістю станів.

Таблиця 3.1 - Порогові значення С/Ш і відповідні їм індикатори якості каналу

CQI	0	1	2	3	4	5	6	7
С/Ш(дБ)	500	-6.934	-5.147	-3.18	-1.254	0.61	2.70	4.697
CQI	8	9	10	11	12	13	14	15
С/Ш(дБ)	6.528	8.576	10.37	12.3	14.18	15.89	17.82	19.83

Для того, щоб перейти від значення SINR до розподілу імовірностей, використано розширений експоненціальний метод (EESM):

$$\gamma_{\text{eff}} = \text{EESM}(\gamma, \beta) = -\beta \ln \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e^{-\gamma_i / \beta}$$

Де γ – значення SINR для кожної піднесучої, визначене для конкретного виду модуляції і кодування β .

Подальше дослідження цього методу буде здійснене у майбутньому. На сьогодні такий підхід успішно випробуваний для технології HS-DPA. Очікується, що його застосування буде виправдане і для LTE мережі і дасть змогу підвищити якість обслуговування абонентів за рахунок прискорення процесу адаптації методу передавання до стану каналу.

3.2.5 Порівняння 3G та 4G/LTE за допомогою тесту швидкості Інтернет-з'єднання (speedtest)

Тест швидкості Інтернет-з'єднання - це тест для вимірювання швидкості передачі даних. Це кількість переданих біт інформації в секунду. Висока швидкість підключення - важливіший фактор, який забезпечує комфортну роботу в мережі. Швидкість Інтернет-з'єднання вимірює шляхом передачі конкретної кількості інформації на веб-сайті сервісу з Вашим комп'ютером, а так само у зворотному створенні. При цьому виходить передача середньої швидкості передачі інформації за одиницю часу.

Використовуючи програму speedtest проведемо порівняння швидкості з'єднання 3G та 4G/LTE, та зробимо висновки. Для проведення тесту використовуємо мобільний пристрій Meizu M6s, та оператора зв'язку Lifecell.

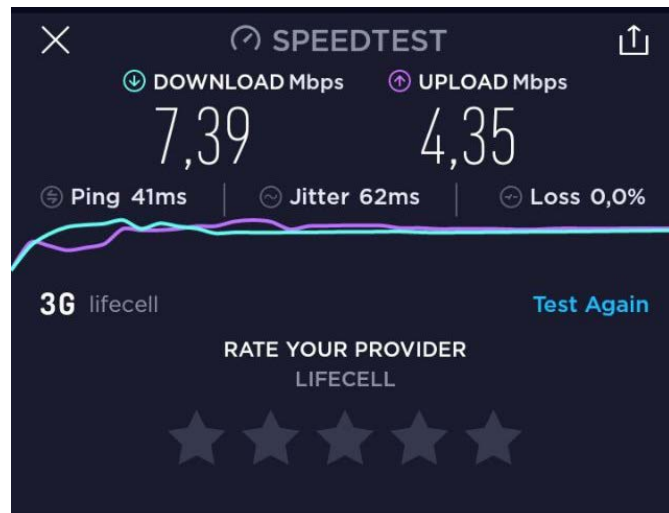


Рисунок 3.5 - Результати speedtest для 3G

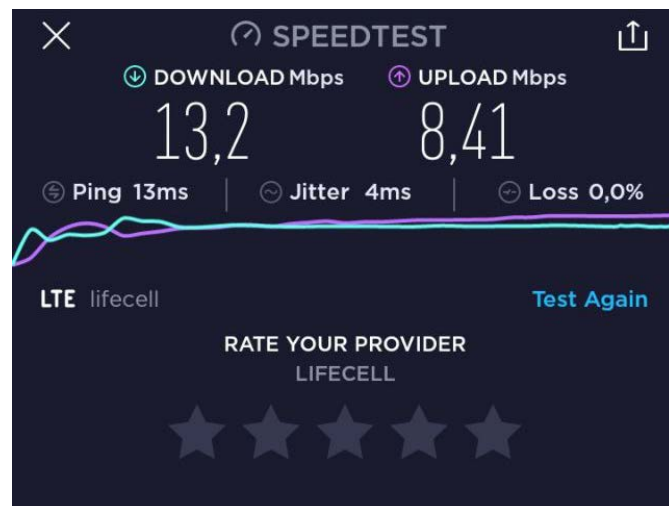


Рисунок 3.6 - Результати speedtest для 4G/LTE

SPEEDTEST				
Type	Date	↓ Mbps	↑ Mbps	
3G	15.11.19 20:12	7,39	4,35	>
LTE	15.11.19 20:06	13,2	8,41	>

Рисунок 3.7. Результати speedtest для 3G та 4G/LTE

З рис.3.7 видно, що швидкість Інтернет-з'єднання 4G/LTE в 1,9 разів більша за швидкість Інтернет-з'єднання 3G. В табл. 3.2 наведено практичні показники отриманих даних.

Таблиця 3.2 - Різниця між третім та четвертим поколінням зв'язку.

Операція	3G	4G
Завантаження фото в Facebook	3-10 с	1 с
Буферизація онлайн музики	До 10 с	1 сек
Завантаження фільму	До 5 год	8-10 м

Висновки до розділу

Досліджено архітектуру та структуру мережі LTE, її функції та основні вузли, які використовуються під час роботи мережі LTE.

Проаналізовано особливості та параметри технології LTE-MIMO, зазначено що ресурс для передачі даних LTE складається з частот, простору і часу. У каналі проведено моделювання з урахуванням різних моделей завад для оцінки залежності спектральної ефективності каналу від співвідношення сигнал/шум на вході приймача у системі LTE для низхідного каналу відрізняється майже в 2 рази ніж у висхідному каналі.

Розглянуто застосування моделі прогнозування CQI, яку можна адаптувати, для методу передавання даних в каналі до його стану без необхідності опитування мобільних станцій. З цією метою використовуємо модель ланцюга Маркова з скінченною кількістю станів, для прискорення процесу адаптації методу передавання до стану каналу.

Проведено тест для порівняння 3G та 4G/LTE за допомогою тесту швидкості Інтернет-з'єднання (speedtest), та виявлено що швидкість Інтернет-з'єднання 4G/LTE в 1,9 разів більша за швидкість Інтернет-з'єднання 3G.

4 МОДЕЛЮВАННЯ CQI В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

4.1 Тестування показника якості каналу (CQI) з використанням інструментів LTE Toolbox

Використано функцію `lteCQISelect`, яка реалізує оцінювання CQI. Нижче наведено тестову програму, яка демонструє, що інструменти LTE Toolbox задовольняють вимогам керівного документу TS36.101 [6] щодо вимірювання CQI. Вимоги до ефективності тесту є такими:

- індекс CQI, який не знаходиться в наборі {медіана CQI - 1, медіана CQI + 1}, повідомляється щонайменше у 20% випадків;
- відношення пропускної здатності, отриманої під час передавання транспортного формату, вказаного у кожному повідомленні широкосмугового індексу CQI, і пропускної здатності, отриманої під час передавання фіксованого транспортного формату, налаштованого відповідно до широкосмугової медіани CQI, повинно бути $\geq 1,05$;
- під час передавання транспортного формату, вказаного у кожному повідомленні широкосмугового індексу CQI, середня ймовірність помилки BLER для зазначених транспортних форматів повинна бути більшою або дорівнювати 0,02.

Налаштування моделювання. Програму написано для моделювання 10 кадрів при відношенні сигнал/шум $SNR=6,0$ дБ. Потрібно використати велику кількість кадрів `NFrames` для отримання значущих результатів:

```
NFrames = 10;
SNRdB = 6,0;
```

Конфігурація базової станції eNodeB. Параметри eNodeB вказано в структурі `enb`. Сюди входить підструктура каналу `PDSCH` для налаштування `PDSCH` відповідно до вимог тесту на відповідність: алгоритм HARQ відключено шляхом встановлення послідовності RV в нуль, а значення `CSIMode` налаштовано відповідно до TS36.101 [6]:

```
enb = struct('RC','R.3');
enb = lteRMCDL(enb);
enb.CFI = 3;
```



```

enb.OCNGPDSCHEnable = 'On';
enb.TotSubframes = 1;
enb.PDSCH.RVSeq = 0;
enb.PDSCH.CSIMode = 'PUCCH 1-0';
enb.PDSCH.CSI = 'On';

```

Налаштування моделі каналу поширення. Структура channel містить параметри конфігурації моделі каналу:

```

channel.Seed = 10;
channel.NRxAnts = 2;
channel.DelayProfile = 'EPA';
channel.DopplerFreq = 5.0;
channel.MIMOCorrelation = 'High';
channel.ModelType = 'GMEDS';
channel.NormalizeTxAnts = 'On';
channel.NormalizePathGains = 'On';
channel.InitPhase = 'Random';
channel.NTerms = 16;
ofdmInfo = lteOFDMInfo(enb);
channel.SamplingRate = ofdmInfo.SamplingRate;

```

Налаштування оцінювання каналу. Оцінювання каналу налаштовано за допомогою структури cec. Змінна perfectChanEstimator керує поведінкою оцінювання каналу. Дійсні значення є true або false. Якщо встановлено значення true, використовується алгоритм оцінювання ідеального каналу, інакше застосовують алгоритм оцінювання неідеального каналу, заснований на значеннях прийнятих пілотних сигналів. У цьому випадку застосовуємо оцінювання ідеального каналу:

```

cec.PilotAverage = 'UserDefined';
cec.FreqWindow = 9;
cec.TimeWindow = 9;
cec.InterpType = 'Cubic';
cec.InterpWindow = 'Centered';
cec.InterpWinSize = 1;
perfectChanEstimator = true;

```

Встановлення затримки CQI. Встановлено затримку CQI у підкадрах. Це затримка CQI, що передається від UE до eNodeB, як визначено в TS36.101 [6]. Зауважимо, що значення CQI вважають ідеальними, коли значення подають у буфер, а не у висхідні лінії зв'язку.

$cqiDelay = 8;$

Система оброблення даних. Основна обробка розділена на дві фази та налаштована з використанням змінної циклу $cqiConfig$. Фази реалізують два вимірювання, необхідні для випробування на продуктивність:

- UE повідомили про CQI. Перша фаза ($cqiConfig=1$) виконує передавання та приймання каналу PDSCH, де схему модуляції та кодування (MCS) обрано на основі повідомленого CQI для UE, який при цьому оновлюється кожні 2 підкадри та подається назад із затримкою 8 підкадрів. Кінцева пропускна здатність, BLER та медіанне значення CQI реєструють, а BLER ($measuredBLER$) та відхилення від медіани CQI ($measuredAlpha$ у відсотках) перевіряють відповідно до заданих вимог щодо продуктивності;

- медіанне значення CQI. На другій фазі ($cqiConfig=2$) передавання та приймання повідомлень каналу PDSCH здійснюють за допомогою медіани CQI ($medianCQI$), визначеної на першій фазі. Кінцеву пропускну здатність реєструють, а коефіцієнт пропускної здатності ($measuredGamma$) між використаним CQI, визначеним на фазі 1, і медіанним значенням CQI, визначеним на фазі 2, повідомляють та перевіряють на відповідність заданим вимогам щодо продуктивності.

Оброблення виконується підкадр за підкадром, використовуючи такі кроки:

- Обирають CQI. Для UE, якому повідомляють про CQI, поточний CQI зчитується з значення в буфері $CQI_{cqiBuffer}$; для медіани CQI завжди встановлюється $CQI_{medianCQI}$ (це виконують шляхом заповнення буфера CQI середнім значенням CQI, і буфер не оновлюється).
- Обирають MCS відповідно до CQI. Індекс схеми модуляції та кодування (MCS), що відповідає CQI, вибирають відповідно до TS36.101.
- Визнають розмір транспортного блоку та порядок модуляції. Індекс MCS передають до функції $lteMCS$, яка обчислює відповідний індекс розміру транспортного блоку (TBS) та порядок модуляції; функцію $lteTBS$ потім

використовують, щоб обчислити TBS з індексу TBS і кількість ресурсних блоків, розподілених для PDSCH.

- Передають та приймати згенерований сигнал. Дані транспортного блоку генерують і передають в `lteRMCDLTool` для створення сигналу для низхідної лінії зв'язку. Потім цей сигнал передають через канал із завадами і додають білий гаусівський шум AWGN. Отриманий сигнал синхронізують і демодулюють за алгоритмом OFDM та здійснюють оцінювання каналу.

- Вимірюють пропускну здатність каналу PDSCH. PDSCH і DL-SCH декодують, а результат перевірки на парність CRC записують для визначення пропускну здатності даних.

- Оновлюють значення CQI. Якщо в підкадрі заплановано оновлення CQI, використовують оцінку каналу для оновлення CQI за допомогою функції `lteCQISelect`. Оновлене значення CQI записують в буфер CQI. Якщо оновлення CQI не заплановане в цьому підкадрі, використовується повторно попереднє значення CQI.

```
CQIReport = [];
SINRRReport = [];
xaxis = [];
for cqiConfig = 1:2
    if (cqiConfig==1)
        cqiConfigStr = 'UE reported';
    else
        cqiConfigStr = 'median';
    end
    fprintf('\nSimulating with %s CQI at %gdB SNR for %d Frame(s)\n', ...
        cqiConfigStr,SNRdB,NFrames);
    if (cqiConfig==1)
        cqiBuffer = ones(1,cqiDelay);
    else
        cqiBuffer = ones(1,cqiDelay)*medianCQI;
    end
    rng('default');
    totalCRC = [];
    totalTBS = [];
    offsets = 0;
```

```

for subframeNo = 0:(NFrames*10-1)
    enb.NSubframe = mod(subframeNo,10);
    cqiPtr = mod(subframeNo,cqiDelay);
    CQI = cqiBuffer(cqiPtr+1);

    MCSTable = [-1 0 0 2 4 6 8 11 13 16 18 21 23 25 27 27];
    IMCS = IMCSTable(CQI+1);
    [ITBS,modulation] = lteMCS(IMCS);
    enb.PDSCH.Modulation = {modulation};
    if (mod(enb.NSubframe,5)==0)
        TBS = 0;
    else
        TBS = double(lteTBS(size(enb.PDSCH.PRBSets,1),ITBS));
    end
    enb.PDSCH.TrBlkSizes(enb.NSubframe+1) = TBS;
    cqiPeriod = 2;
    cqiOffset = 1;
    cqiUpdate = (mod(subframeNo,cqiPeriod)==cqiOffset);
    if((TBS~=0 && subframeNo>=(cqiDelay+cqiOffset)) || ...
        (cqiConfig==1 && cqiUpdate) || subframeNo==0)
        data = randi([0 1],TBS,1);
        txWaveform = lteRMCDLTool(enb,data);
        channel.InitTime = subframeNo/1000;
        rxWaveform = lteFadingChannel(channel, ...
            [txWaveform ; zeros(25,size(txWaveform,2))]);
        SNR = 10^((SNRdB-enb.PDSCH.Rho)/20);
        N0 = 1/(sqrt(2.0*enb.CellRefP*double(ofdmInfo.Nfft))*SNR);
        noise = N0*complex(randn(size(rxWaveform)), ...
            randn(size(rxWaveform)));
        rxWaveform = rxWaveform + noise;
        if (mod(subframeNo,10)==0)
            offset = lteDLFrameOffset(enb,rxWaveform);
            if (offset > 25)
                offset = offsets(end);
            end
            offsets = [offsets offset]; %#ok<AGROW>
        end
        rxWaveform = rxWaveform(1+offset:end,:);
        rxGrid = lteOFDMDemodulate(enb,rxWaveform);
        if (perfectChanEstimator)
            chEstGrid = ...
                lteDLPerfectChannelEstimate(enb,channel,offset);
            n = lteOFDMDemodulate(enb,noise(1+offset:end,:));
            noiseEst = var(reshape(n,numel(n),1));

```

```

else
    [chEstGrid,noiseEst] = ...
        lteDLChannelEstimate(enb,enb.PDSCH, ...
            cec,rxGrid);
end
    if(TBS~=0 && subframeNo>=(cqiDelay+cqiOffset))
    ind = ltePDSCHIndices(enb,enb.PDSCH,enb.PDSCH.PRBSset);
    pdschRx = lteExtractResources(ind,rxGrid) * ...
        (10^(-enb.PDSCH.Rho/20));
    pdschChEst = lteExtractResources(ind,chEstGrid);
    [rxBits,rxSymbols] = ltePDSCHDecode(enb,enb.PDSCH, ...
        pdschRx,pdschChEst,noiseEst);
    [decbits,crc] = lteDLSCHDecode(enb,enb.PDSCH,TBS,rxBits);
    totalCRC = [totalCRC crc];
    totalTBS = [totalTBS TBS];
end
if (cqiConfig==1 && cqiUpdate)
    [thisCQI,thisSINR] = ...
        lteCQISelect(enb,enb.PDSCH,chEstGrid,noiseEst);
    cqiBuffer(cqiPtr+1) = thisCQI;

    CQIReport = [CQIReport thisCQI];
    SINRReport = [SINRReport thisSINR];
    xaxis = [xaxis subframeNo];
end
end
    if (cqiConfig==1 && ~cqiUpdate)
    cqiBuffer(cqiPtr+1) = cqiBuffer(mod(cqiPtr-1,cqiDelay)+1);
end
end
    fprintf('\nResults with %s CQI:\n',cqiConfigStr);
    tputTotal = sum(totalTBS);
    if (cqiConfig==1)
        tputUERreported = sum(totalTBS.*(1-totalCRC));
        fprintf('Throughput: %d bits (%0.2f%%)\n', ...
            tputUERreported,tputUERreported/tputTotal*100);
        measuredBLER = mean(totalCRC);
        fprintf('BLER: %0.3f (requirement is >= 0.02)\n',measuredBLER);
        medianCQI = ceil(median(CQIReport));
        fprintf('Median CQI: %d\n',medianCQI);
        measuredAlpha = (sum(CQIReport<(medianCQI-1)) + ...
            sum(CQIReport>(medianCQI+1)))/length(CQIReport)*100;
        fprintf(['Percentage of CQI indices outside +/- 1 of median:' ...
            '%0.2f%% (requirement is >= 20%%)\n'],measuredAlpha);
    end
end

```

```

else
    tputMedian = sum(totalTBS.*(1-totalCRC));
    fprintf('Throughput: %d bits (%0.2f%%)\n', ...
        tputMedian,tputMedian/tputTotal*100);
    measuredGamma = tputUEReported/tputMedian;
    fprintf(['Throughput ratio (gamma): %0.3f' ...
        '(requirement is >= 1.05)'],measuredGamma);
End

```

4.2 Результати моделювання

```

Results with UE reported CQI:
Throughput: 980384 bits (77.98%)
BLER: 0.219 (requirement is >= 0.02)
Median CQI: 10
Percentage of CQI indices outside +/- 1 of median: 30.00% (requirement is >= 20%)

Simulating with median CQI at 6dB SNR for 10 Frame(s)

Results with median CQI:
Throughput: 722304 bits (60.27%)
Throughput ratio (gamma): 1.357 (requirement is >= 1.05)

```

Рисунок 4.2.1 – Результати виконання компіляції.

В результаті сформовано 2 графіки. Перший графік (рис. 4.2.2) демонструє прогнозоване значення *SINR* для кожного підкадру; другий графік (рис. 4.2.3) показує повідомлене значення CQI для кожного підкадру. Обидва графіки ілюструють, як значення *SINR* та відповідні повідомлені індекси CQI змінюються в часі через канал із завмираннями.

```

figure;
subplot(2,1,1);
plot(xaxis,SINRReport,'rx-');
xlabel('Subframe number');
ylabel('Estimated SINR (dB)');
title('Estimated SINR versus subframe number');
hold on;
subplot(2,1,2);
plot(xaxis,CQIReport,'bo-');
xlabel('Subframe number');
ylabel('Selected CQI Index');
title('Selected CQI Index versus subframe number');

```

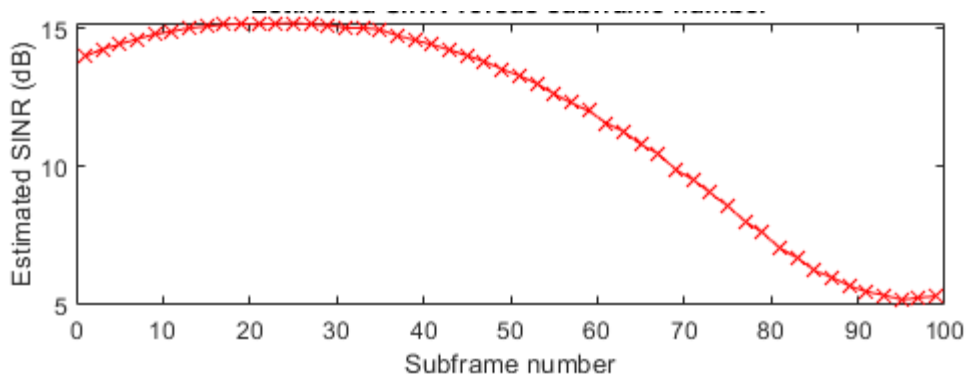


Рисунок 4.2.2 - Залежність SINR від номеру підкадру

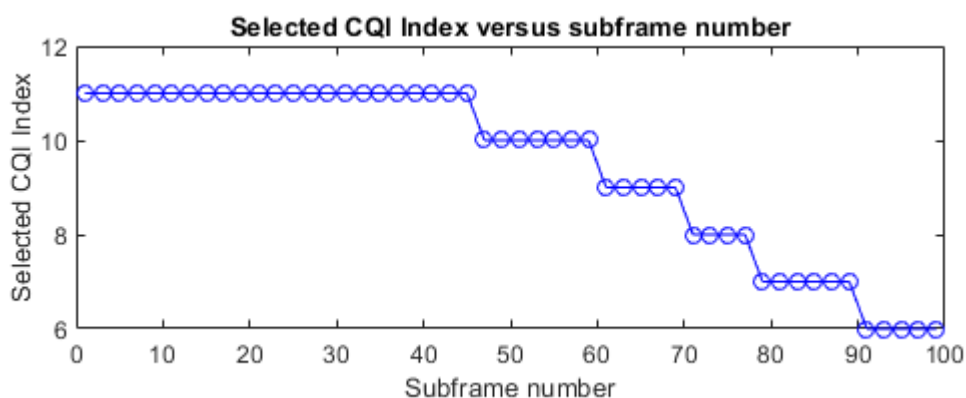


Рисунок 4.2.3 - Залежність індексу CQI від номеру підкадру

Якщо значення SINR змінюється в межах від 14 до 15, то значення індексу CQI залишається не змінним (для перших 42 кадрів).

При поступовому зниженні SINR з 14 до 5, значення індексу CQI, також продовжує знижуватись від 10 до 6. Це призводить до зміни схеми модуляції кодування MSC в підкадрах з 43 по 100.

З табл. 2.3, наприклад для значень 10, 9, 8, 7, буде застосовано модуляцію 16QAM з різною кодовою швидкістю.

Тоді як для індексу CQI, 6 буде застосовано модуляцію QPSK.

Висновки

У розділі проведено тестування показника якості каналу (CQI) з використанням інструментів LTE Toolbox. Наведено тестову програму, яка демонструє, що інструменти LTE Toolbox задовольняють вимогам керівного документу TS36.101 [6] щодо вимірювання CQI.

Виконано налаштування моделювання для моделювання 10 кадрів при відношення сигнал/шум $SNR=6,0$ дБ.

Налаштовано оцінювання каналу ,за допомогою структури сес. Встановлено затримку CQI у підкадрах, що передається від UE до eNodeB, як визначено в TS36.101. Та отримано результати моделювання, за яких при поступовому зниженні SINR з 14 до 5, значення індексу CQI, також продовжує знижуватись від 10 до 6. Це призводить до зміни схеми модуляції кодування MSC.

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

В межах даного розділу проаналізовано наступні аспекти стартап-проекту: зміст ідеї (що пропонується);

- можливий напрямок застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару;
- відмінність від існуючих аналогів та замінників.

5.1 Опис ідеї проекту

У табл. 5.1 наведено зміст ідеї стартап-проекту, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів напрямки [5], де може бути реалізовано проект та вигоди для користувача.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямок застосування	Вигоди для користувача
Розгортання мереж з технологією LTE-MIMO.	Телекомунікаційні системи та мережі нового покоління	Висока швидкість передавання даних
		Можливість передавання великих обсягів інформації в мережах.
		Мінімальне зниження бітової швидкості зі зростанням абонентів в мережі.

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (відмінність від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик;
- визначення попереднього кола конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та збір

інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№п/п	Техніко-характеристики	(Потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	Товар-аналог	Товар-аналог			
1.	Призначення	Використання мережах зв'язу	Використання зв'язку	Використання невеликих зв'язку			+
2.	Надійності	Довговічність використання	Довговічність використання	Довговічність використання		+	
3.	Технологічні	Більша передавання д	Більша передавання д	Значне пропускної зд			+
4.	Ергономічні	Система користуванні налаштуванні	Система користуванні налаштуванні	Система користуванні налаштуванні		+	
5.	Екологічні	Не встановлену потужність	Не встановлену потужність	Не встановлену потужність			
6.	Безпеки	Безпечно	Безпечно	Безпечно		+	

– порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначаються показники, що мають: а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Визначено перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару, можна зробити висновок, що отримані порівняння можуть бути підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару). Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 5.3):

- технологія, за якою буде виготовлено товар згідно ідеї проекту;
- аналіз наявності такої технологій;
- доступність технологій автору проекту.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
1.	Математичне дослідження характеристик мережі LTE	Програмне середовище Mathcad	Наявна	Доступно, є для застосування
2.	Створення віртуальної моделі мережі	Програмне середовище TamoGraph	Наявна	Доступно, немає для застосування
3.	Розроблення топології мережі	Програмне середовище Cisco Packet Tracer	Наявна	Доступно, є для застосування
Обрані технології для аналізу та дослідження ідеї проекту: Програмне середовище Mathcad та Cisco Packet Tracer				

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	1
2.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
3.	Наявність обмежень для входу	Немає
4.	Специфічні вимоги до стандартизації сертифікації	Немає
5.	Середня норма рентабельності в галузі ринку, %	300

За результатами попереднього оцінювання ринок є привабливим для входження.

Потенційні групи клієнтів, їх характеристики, орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи наведено в табл.5.5.

Проведено аналіз ринкового середовища: складені таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл.5.6-5.7). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення значущості.

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що	Цільова	Відмінності у	Вимоги
-------------	---------	---------------	--------

формує ринок	аудиторія (цільові сегменти ринку)	поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	споживачів товару
Висока швидкість передавання інформації	Системи мобільного зв'язку, радіозв'язку, телебачення	Поведінку клієнта Формують потреби; особливостей купівлі та експлуатації товару не має	Мережа має стабільно забезпечувати доступ в Інтернет

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Нестача кваліфікованих кадрів	Для налаштування мережевого обладнання потрібна команда людей відповідним рівнем знань	Пошук персоналу у науково- дослідних інститутах та організаціях
2.	Нестача ресурсів	Для створення продукту потрібне технічне забезпечення та певні умови для тестування	Укладання угод з державними структурами для фінансування та Надання можливостей для

		працездатності мережі	тестування продукту
3.	Фінансова Нестабільність	Потреба в коштах для забезпечення необхідного обладнання.	Пошук інвесторів

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Попит	Існування постійного попиту на зростання швидкості передавання даних означає, що більшість клієнтів зацікавлені у введенні інновацій. Збільшення пристроїв, що підключаються до мережі Інтернет.	Рекламна діяльність, просування товару у Інтернеті, участь у формах та конференціях.
2.	Науково технічний прогрес	Стрімкий ріст технологій та збільшення наукової бази дозволяють Ефективно вирішити Поставлені завдання	Ознайомлення з останніми патентами у відповідній галузі; відвідування наукових конференцій

Надалі проведено аналіз пропозиції: визначені загальні риси конкуренції на ринку (табл. 5.8).

Після аналізу конкуренції проведений більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за М. Портером) (табл. 5.9).

Сильні позиції компанії за кожним з факторів М. Портера означають і її можливості забезпечити необхідні темпи обороту капіталу та здатність впливати на інших агентів ринку, диктуючи їм власні умови співпраці. Характеристики факторів моделі відрізняються для різних галузей та змінюються із часом.

На основі аналізу конкуренції, наведеного в табл. 5.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 5.2), вимог споживачів до товару (табл. 5.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 5.6-5.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз наведено в табл. 5.10.

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	Прояви характеристики	Вплив на діяльність Підприємства (можливі заходи компанії, щоб конкуроентоспроможною)
1. Тип конкуренції: монополія	На ринку в межах України існує 3 подібні компанії, але вони розгортають свою мережу за стандартами.	Підвищувати якість товару (досягати кращих показників) за рахунок використання передових технологій залучення кваліфікованого персоналу
2. За рівнем конкуренції: боротьби: державний	Компанія-конкурент знаходиться в Україні, і не надає використовує технологію.	Створити веб-сайт компанії, що відповідає міжнародним стандартам
3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Економічна боротьба товаровиробниками,	Слідкувати за розвитком продукту конкурента

	діють в одній г економіки, виробляють реалізують однакові то що задовольняють одну саму потребу, але м відмінності у виробн затратах, якості та ціні	
4. Конкуренція за ви товарів: товарно-видова	Конкуренція між това одного виду	Покращувати рівень я товару
5. За характ конкурентних пер цінова	Передбачає пр продукції за ниж цінами ніж конкурент	Продавати товар за помі ціною
6. За інтенсивн Марочна	В сучасній економ ситуації боротьба не явно виражений маро характер, велике знач набуває брендинг	Реклама товару, створ символіки продукту

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Складові аналізу	Висновки
Прямі конкуренти в галузі	lifecell	Інтенсивність конкурентної боротьби низька
Потенційні конкуренти	Немає	Немає
Постачальники	Немає	Постачальники не диктують умови роботи на ринку

Клієнти	Вимоги до якості	Товар має задовольняти вимоги клієнтів
Товари-замінники	Забезпечення доступу в Інтернет з меншою швидкістю	Обмежень для роботи на ринку через товари замінники немає

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор Конкурентоспроможності	Обґрунтування (чинники, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1.	Ступінь задоволення потреб користувача	Продукт має забезпечувати передавання даних зі швидкістю, яка задовольняє користувача
2.	Сумісність з існуючими системами	Продукт не має створювати завад для інших систем радіозв'язку
3.	Якість розробки з точки зору показників надійності	Продукт має забезпечувати достовірність переданих даних
4.	Наявність кваліфікованих кадрів в команді	Науковці з досвідом та високим рівнем підготовки, які зацікавлені в дослідженні та розвитку методу LTE-MIMO
5.	Економічний	Ціна товару має бути помірною

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 5.10) проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проєкту (табл. 5.11).

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 20	Рейтинг товарів-конкурентів порівнянні						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ступінь задоволення потреб користувача	17			+				
2.	Сумісність з існуючими системами	18			+				
3.	Якість розробки щодо показників надійності	17				+			
4.	Наявність кваліфікованих кадрів в команді	15					+		
5.	Економічний	19	+						

На фінальному етапі ринкового аналізу можливостей впровадження проекту виконано SWOT-аналіз (матриця аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 5.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, сильних і слабких сторін (табл. 5.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складено на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи

аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 5.13).

Таблиця 5.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	<ul style="list-style-type: none"> 1. Економічна (ціна товару є помірною). 2. Відсутність конкуренції на національному ринку. 3. Ступінь задоволення потреб користувача. 4. Якість розробки з точки зору показників надійності
Слабкі сторони	<ul style="list-style-type: none"> 1. Нестача наукових та технічних ресурсів. 2. Популярність бренду. 3. Нестійка позиція на ринку. 4. Вузькопрофільна діяльність.
Можливості	<ul style="list-style-type: none"> 1. Зниження витрат на виробництво продукції. 2. Покращення якості продукту. 3. Формування попиту на товар за рахунок реклами. 4. Освоєння національного ринку. 5. Залучення нових клієнтів. 6. Розширення складу команди. 7. Нові технології
Загрози	<ul style="list-style-type: none"> 1. Неприятлива економічна ситуація в країні. 2. Додатковий державний контроль якості продукту. 3. Товари-аналоги.

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Пошук наукових та технічних ресурсів, Пошук	75%	2 роки

	інвесторів, поглиблене дослідження, тестування створення реклами.		
2.	Дослідження поведінки споживачів, пошук коштів пошук наукових ресурсів пошук обладнання створення програмного забезпечення, тестування	60%	3 роки

Із зазначених альтернатив обрано альтернативу № 1, так як для неї отримання ресурсів є більш ймовірним, а строки реалізації – більш стислими.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, що наведено в табл. 5.14.

Таблиця 5.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис про цільової і потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в м цільової і (сегменту)	Інтенсивність конкуренції сегменті	Простота входу сегмент
1.	Державні Установи	Готові	Середній	Низька	Середня
2.	Приватні підприємства	Готові	Високий	Низька	Середня
Які цільові групи обрано: обрано цільову групу №2.					

Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (табл. 5.15). Вибір стратегії конкурентної поведінки наведено в табл. 5.16.

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Задоволенні потреб обраного цільового сегменту	Формування попиту у користувачів за рахунок унікальних характеристик та високої якості товару	Стратегія спеціалізації

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт "першопрохідцем" на нац. ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Так	Так	Ні	Стратегія лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап компанії) та до продукту (табл. 5.5), а також в залежності від обраної

базової стратегії розвитку (табл. 5.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16) розроблено стратегію позиціонування, наведену в табл. 5.17. Стратегія позиціонування полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Товар має забезпечувати швидкість передавання	Спеціалізації	Високий ступінь задоволення потреб користувача, гнучкість, помірна ціна	Оптимальне співвідношення ціна/якість, наукоємність, співпраця.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл.5.18 наведені результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед
-------	---------	----------------------------	------------------------

			конкурентами (існуючі або такі що потрібно створити)
1.	Висока швидкість передавання даних	Висока швидкість передавання мережі	Значно вища швидкість передавання даних
2.	Якість	Стабільність роботи системи	Використання високо якісного обладнання

Розроблено трирівневу маркетингову модель товару: уточнена ідея продукту (та/або послуги), його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 5.19).

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Розгортання мережі LTE-MIMO		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/ Е/Ор
	1. Забезпечення високих швидкостей передавання даних. 2. Помірна ціна. 3. Забезпечення достовірності переданих повідомлень 4. Забезпечення високої швидкості передавання даних		

	(8 МБіт/с та більше) у випадку великої кількості абонентів		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: гарантія.		
	Після продажу: встановлення, налаштування, обслуговування, підтримка.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності.			

Наступним кроком визначено цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл.5.20). Аналіз проведено експертним методом.

Таблиця 5.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	4000 у.о.	6000 у. о.	36000 у.о. і вище	7000 – 12000 у.о.

Наступним кроком визначено оптимальну системи збуту, в межах якої приймається рішення (таблиця5.21):

- збут власними силами або із залученням сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;

- вибір та обґрунтування виду посередників.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 5.22).

Маркетингова комунікація охоплює будь-яку діяльність підприємства, спрямовану на інформування, переконання, нагадування споживачам та ринку в цілому про свої товари і свою діяльність.

Таблиця 5.21 – Формування системи збуту

№ п / п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Заказ послуги на сайті або безпосередньо розробників	Встановлення налаштування, інформування, поділ, зберігання	Канал нульового рівня	Виробник безпосередньо пропонує продукцію покупцям

Таблиця 5.22 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Використання послуги для	Прямі канали	Висока швидкість	Поширення інформації	Особлива увага

передавання даних на високій швидкості. Використання у комерційних цілях	комунікації, в яких інформація передається безпосередньо від інформатора до інформованої особи	передавання даних.	про новий метод модуляції. Поширення знань про підприємство	приділяється високій швидкості передавання даних. Відмінність між послугою і послугами замінниками.
--	--	--------------------	---	---

Висновки до розділу

1. За результатами попереднього оцінювання ринок є привабливим для входження. Спостерігається попит на розгортання мереж LTE-MIMO, що забезпечують високу швидкість передавання даних. Можливість ринкової комерціалізації проекту присутня.

2. Продукт є унікальним в своїй галузі. Конкуренція на національному ринку мінімальна кількість та нижча якість послуг. Для подальшого дослідження, розробки та тестування товару потрібно залучати висококваліфікованих науковців та інженерів.

3. Для ринкової реалізації проекту доцільно обрати альтернативу – пошук наукових та технічних ресурсів, залучення інвесторів, створення реклами, взаємодія зі споживачами.

ВИСНОВКИ

1. Залежно від типу сервісу виділяють дві основні категорії мультимедійного трафіку: трафік реального часу, що обслуговує мультимедійні послуги пов'язані з передаванням інформації між користувачами у реальному часі та трафік звичайних даних, який утворюється традиційними розподіленими послугами сучасної телекомунікаційної мережі, такими, як електронна пошта, передавання файлів, віртуальний термінал, віддалений доступ до баз даних тощо. До характеристик трафіку, який генерується в мультисервісних мережах, відносять: величину трафіку (миттєве, максимальне, пікове, середнє і мінімальне значення), біт/с; коефіцієнт пульсації трафіку; середню тривалість пікового трафіку; середню тривалість сеансу зв'язку; формати елементів трафіку; максимальний, середній, мінімальний розміри пакету даних; інтенсивність трафіку запитів.

2. Показники якості роботи мережі характеризують її здатність забезпечувати ефективне обслуговування трафіку, яке, у свою чергу, залежить від низки суто технічних показників. Нормативне значення цих технічних показників, які характеризують можливість відмови технічних засобів, а також здатність наявного обладнання мережі обслуговувати трафік певної інтенсивності, задається на стадіях планування та проектування мережі. Як показав проведений аналіз, у процесі визначення цих нормативних показників враховуються можливі втрати оператора та споживача, пов'язані з відмовою технічних засобів, а також – з недостатньою забезпеченістю мережі ресурсами та можливостями, які зіставляються з додатковими витратами на підвищення надійності та пропускної здатності мережі.

3. Запропоновано модель формування безпроводного каналу передавання для підвищення пропускної здатності каналу SU/MU-MIMO з використанням просторового рознесення, особливості та параметри технології LTE-MIMO, зазначено що ресурс для передачі даних LTE складається з частот, простору і часу. У каналі проведено моделювання з урахуванням різних

моделей завад для оцінки залежності спектральної ефективності каналу від співвідношення сигнал/шум на вході приймача у системі LTE для низхідного каналу відрізняється майже в 2 рази порівняно з висхідним каналом.

4. Досліджено застосування моделі прогнозування CQI, яку можливо адаптувати, для методу передавання даних в каналі, без необхідності опитування мобільних станцій. З цією метою використовуємо модель ланцюга Маркова з скінченною кількістю станів, для прискорення процесу адаптації методу передавання до стану каналу.

5. Розглянуто алгоритми формування пропускної здатності LTE на фізичному рівні, що сформовано на основі смуги пропускання системи, яка коливається від 1,4 до 20 МГц, та доступна різна кількість фізичних ресурсів кадру. Фізичні канали та опорні сигнали розподіляються для цих ресурсів на основі різних схем модуляції, швидкості коду і кількості портів антени.

6. З'ясовано, що підвищення пропускної здатності на основі узгодженого планування міжрівневої взаємодії в системі LTE з урахуванням QoS, як правило, визначається з точки зору мінімальної швидкості чи максимальної затримки. Параметри QoS можуть бути класифіковані відповідно до їх технічних реалізацій в системах LTE.

7. Проведено тестування показника якості каналу (CQI) з використанням інструментів LTE Toolbox. Наведено тестову програму, яка демонструє, що інструменти LTE Toolbox задовольняють вимогам керівного документу TS36.101 щодо вимірювання CQI. Основна обробка розділена на дві фази та налаштована з використанням змінної циклу. За результати моделювання маємо прогнозоване значення $SINR$ та повідомлене значення CQI для кожного підкадру, що вказує на $SINR$ та відповідні повідомлені індекси CQI, що змінюються в часі через канал із завмираннями. При поступовому зниженні $SINR$ значення індексу CQI також продовжує знижуватись, що призводить до зміни схеми модуляції кодування MCS в підкадрах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. A. Leon-Garcia and I. Widjaja, Communication Networks: Fundamental Concepts and Key Architectures, McGraw-Hill, 2000.
2. SO/IEC 13818: 'Generic coding of moving pictures and associated audio (MPEG-2)
3. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения. М.: - Техносфера, 2005. - 368 с
4. IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003), Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metro?olitan area networks – Specific requirements – Specifications.
5. Розроблення стартап-проекту URL: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей /За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ:НТУУ, 2016. – 28 с.
6. 3GPP TS 36.101 "User Equipment (UE) radio transmission and reception"
7. Mehdi Alesti, Quality of Service in WiMAX and LTE Networks// Mehdi Alasti and Behnam Neekzad, Clearwire Jie Hui and Rath Vannithamby - Intel Labs, IEEE Communications Magazine, 2010. – 225 с.
8. Гельгор А.Л. / Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие // А.Л. Гельгор, Е.А. Попов - СПб.: Политехн. ун-та, 2011. - 204 с.
9. Fei Liu,/ A Novel QoE-Based Carrier Scheduling Scheme in LTEAdvanced Networks with Multi-Service// Wei Xiang, Yueying Zhang, - Program for New Century Excellent Talents in University (Grant No. NCET-11-0600), and Graduate Innovation Fund of HUAXING CHUANGYE & SICE, BUPT, 2011.
10. R. Barco,/ Estimation of Link-Layer Quality Parameters in a System-Level LTE Simulator// University of Malaga, Communications Engineering Dept., Malaga, Spain, IEEE – 2010.

11. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance. Cambridge University Press, New York.- 2009., p.291-342.
12. Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker. LTE – The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication. Great Britain.-2009., p.207-239.
13. Lee, Juho, Han, Jin-Kyu, and Zhang, Jianzhong (Charlie), (2009), “MIMO Technologies in 3GPP LTE and LTE-Advanced”, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Volume 2009, pp. 1-10.
14. A Mathematical Theory of Communications. Shannon, C. E. Vols. Bell Systems Technical Journal, vol. 27, 1948, pp. 379-423 and 623-656.
15. Y. G. Li, N. Seshadri, and S. Ariyavisitakul, "Channel estimation for transmitter diversity in OFDM systems with mobile wireless channels," IEEE J. Selected Areas Commun., vol. 17, pp. 461-471, March 1999
16. X. Li and X. Cao, "Low complexity signal detection algorithm for MIMOOFDM systems," IEE Electronics Letters, vol. 41, no. 2, Jan.2005.
17. 3GPP TS 36.211 version 10.3.0 Release 10 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation .P.10-15
18. E. Tuomaala and H. Wang, \E_ective SINR approach of link to system mapping in OFDM/multi-carrier mobile network," in Proc. 2nd International Conference on Mobile Technology, Applications and Systems 2005, Nov. 2005.
19. P. A. Bello, “Characterization of randomly time-variant channels,” IEEE Transactions on Communications, vol. 11, no. 4, pp. 360–393, 1963.
20. Leila shyanpour Master thesis. QOE base application mapping for resource management. University of electrical and computer engineering university Toronto.2010, P. 23-26
21. ITU. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS. Estimating end-to-end performance in IP

networks for data applications. Quality of service and performance – Generic and user related aspects. G-1030. -11.2005., p. 1-20.

ДОДАТОК А

Abstract

The development of science, society, new technologies is growing at such a rapid rate that new ones are emerging knowledge is rapidly losing its relevance, becoming obsolete. Along with this the speed of change information in the modern world is extremely high, so the question of formation is acute information resources based on the integration of information technologies that provide the active human impact on this data in real time. Multimedia is the navigation structure, providing interactivity - the ability to interact directly with the software resource.

In the conventional definition, "multimedia" is a special interactive technology, which, through hardware and software, provides computer graphics, text, speech, high-quality audio, still images and video. In the work of A.I. Kaptereva states that to create multimedia systems with multimedia content is formed by complex systems. This is done as clearly as possible the method of displaying and, respectively, perceiving multimedia content information user, according to its type.

We will consider multimedia content as electronic combinations of information containing text, video data, still images, audio streams that are available online. Nowadays, a lot of information is submitted to web sites, in annexes to print publications as multimedia resources.

Multimedia is widely used in the television industry. The broadcast can be submitted live or record with a multimedia presentation. This kind of multimedia Content can be submitted in analog or digital format. Digital multimedia presentations prepared mainly in streaming mode .

A.V. Kropyvenko, in his textbook, looks at graphical data flows that are commonplace the phenomenon when working with a computer on solid state expandable multimedia systems graphics, animation and combination of television and computer images. Significantly improve perception of information and audio stream. All this significantly brings the information with which the user is works on a computer, before it is presented in real time. So in computer terminology graphics came up with a definition of realistic computer graphics. This is a graphic that covers the aforementioned features.

Further steps to create realistic (solid-state) images are related to consideration Such: the location of the light source (s) and their characteristics;

- The location of the light receiver and its characteristics;
- Properties of the object (s).

The Cambridge Handbook of Multimedia Learning describes the properties well vector and raster forms. When using a vector form, the image is described by by binding to a coordinate grid and functions. Usually several are used coordinate systems. Functions can be different and in the simplest case it is a vector, but they can be both a circle and an ellipse and a parabola and so on. In three-dimensional space, it's flat surfaces, layers, ellipsoid and others. Thus, the vector form provides a mathematical description of the image, which is its own in turn helps to create a large number of mathematical methods and algorithms for working with information (its transformation, finding the intersection, etc.). This is a significant positive a feature of the vector description method.

Vector monitors have been replaced by bitmaps. In them the beam moves according to the set trajectories - spiral in the polar coordinate system, and line by line from top to bottom (created raster field) in the Cartesian coordinate system. Synchronized with the movement of the beam is the circulation to the cell, the so-called raster memory, and the corresponding point is highlighted.

The characteristics of this backlight depend on the contents of the memory cell being accessed, describes the widespread use of solid state graphics in systems computer aided design, and mainly for industrial sites, is often not complex enough.

For complex objects (real-world objects around us), this task is not easy and requires powerful computing resources to build.

V.V. Dunayev in his paper notes that a structured description is obligatory during the use of computer graphics in computer aided design, as described in the system SATIA, built on the PHIGS standard (provides three-dimensional, structured, dynamic objects).

An important issue that can be attributed to the field of artificial intelligence in terms of creation virtual reality programs are "figurative thinking". Three interpretations can be interesting tasks that are ahead of computer graphics, formulated by Dmitry Pospelov concerning multimedia image:

- The creation of multimedia models of knowledge representation, should enable to model models as objects for logical thinking as well as images multimedia pictures that are used in figurative thinking;
- Visualization of human knowledge for which text or audio description is impossible;
- Search for ways to move from multimedia images to some formulation hypotheses about mechanisms and processes that are hidden by the dynamics of the image-image.

Today, the use of Internet resources has become widespread and is almost the main one source in providing the user with diverse information in any field of activity. That is why The use of a wide range of multimedia capabilities is important enough web page developers. To create a quality Web site with multimedia content alone the main criteria is the use of appropriate graphical capabilities to create good design and clearer display of information provided on the website.

Empowering the presentation and perception of information, acquires information to an increasingly important society. Multimedia is an effective technology thanks to its inherent qualities of interactivity, flexibility and integration of different types of information. Scientific and applied the problem of developing methods and tools for improving the effectiveness of multimedia perception information products, which is reflected in increasing popularity, competitive ability, economy and resistance to undesirable influences, is an important area of scientific research research in computer science.

Multimedia content is required to create any kind of multimedia system. Static content (for example, ebooks) can be considered as multimedia content availability of photography and interactive user interaction. Video in multimedia The environment

is often used to represent "frames" in a special way that is used to distinguish the motion of a photograph from the "animation" that controls the movement of the image. IN electronic fine arts editions, for example, make the link between the two key ones elements of music and film; or change the theme using animation technology.

Multimedia systems are divided into linear and non-linear categories. Linear systems active content works without navigation controls for viewing, they belong movie documents and unmanaged presentations. Nonlinear systems are systems that introduce interactivity for control of the work process that is often used in computer games and training complexes, hypermedia is an example of nonlinear content. In multimedia presentations of the system Navigations provide interactive control of information display. Interactivity can be the result of interaction with the master or performer.

Multimedia systems are finding their way into many industries, including advertising, arts, education, culture, technology, medicine, mathematics, business, research. Here are some examples of how to use multimedia resources efficiently.

Art and media. Creative users apply multimedia tools for effective presentation of their creative achievements, visualization of them creative work. The multimedia designer offers ample opportunity comprehensive presentation of information.

Advertising. Exciting presentations serve to attract and retain attention in advertising industry. Multimedia and managed multimedia presentations are important in this field.

For entertainment. Multimedia tools are widely used in the entertainment industry, including when creating special effects in film and television and using animation. Multimedia Games are a popular activity and are available on the software either in the form of CDs or via Internet. Many video games also use multimedia features. Multimedia applications that allow users to participate actively, not simply be a passive recipient of information, called interactive multimedia.

Education. In education, multimedia is used to create computer training courses and reference books, encyclopedias and almanacs. They allow the user to browse presentations, lecture notes of certain topics with multimedia accompaniment in different formats. Learning technology has changed significantly in the last decade with the introduction of multimedia. Several areas of research are developing (e.g., cognitive load, multimedia training, the impact of interactive learning tools and this list can be continued). Opportunities The multimedia tools for the efficiency of the organization of the educational process are almost endless.

The idea of convergence of different types of information also becomes one of the most important factors in education, especially higher education. It involves the use of both individual technologies and certain technologies components: voice (telephony features), data (app performance), and shared video use resources and interact with each other, creating new tools and changing the specifics submission of educational material at universities around the world.

Today, multimedia technologies that make up are being actively introduced into the educational process a special kind of computer technology. They combine as a traditional static visual information (text, graphics), and dynamic (language, music, video, animation), stipulating the possibility of simultaneously affecting the visual and auditory sensory organs of the learners. It Allows you to create images that dynamically evolve in different information views (audio, visual). Analysis of domestic and foreign scientific sources showed that it is characteristic feature of using multimedia technologies in the learning environment, compared to traditional forms of organization of the educational process are the presentation of information not only through text, but also through images. There are still many problems with the use of new technologies in teaching today. Engineering issues with logical development remain unresolved thinking, with becoming an engineer as a creative personality.

Engineering. Software developers use multimedia technologies in computer computing, in military or industrial simulators. Multimedia support for software

interfaces is created in the process of collaboration between the creative software professionals and engineers. Industry. In the industrial sector, multimedia technologies are used as a way of providing information to shareholders, management and colleagues. Multimedia messaging also are used to improve staff skills, to promote goods through virtually unlimited web technologies.

Mathematical and scientific researches. In mathematical and scientific research, multimedia technologies are mainly used to model and create real-world tools displaying the results achieved. For example, a scientist can create and work with model molecules of any substance and manipulate it using 3-D images format. You can consider real phenomena, such as the movement of rocks and compare with the work of relevant models of these phenomena.

Medicine. In medicine, doctors can get more information and better training, looking at virtual operations or can simulate how the human body is affected by disease, the spread of viruses and bacteria, and then develop techniques to prevent them.

Web design. A good website should be designed for a specific purpose, with good interactivity and multimedia technologies can and should be a means of attracting visitors. Website design should be attractive and innovative, taking into account the main goals, often refresh and download fast. When users browse the pages, they can view only one page, and multimedia allows you to create a "mental model information structure, "which allows multiple pages to be viewed at a time.

The LTE standard was developed under the 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) as a continuation of CDMA and UMTS, and was not originally intended for the fourth generation of mobile communications. The International Telecommunication Union has chosen the tenth LTE release, LTE Advanced, for the first time to be introduced by the Japanese company NTT DoCoMo as the standard of communication that meets all the requirements of fourth generation wireless communications. As this standard can be implemented on existing cellular networks, it has become more popular with cellular operators. In April 2008, Nokia enlisted the

support of a number of companies (Sony Ericsson, NEC) to develop the LTE standard and make it competitive against WiMAX. In the same year, Analysys Mason predicted an increase in the need for cellular technologies such as LTE rather than WiMAX.

The first LTE commercial network was launched on December 14, 2009 by the Swedish telecommunications company TeliaSonera in partnership with Ericsson, Stockholm and Oslo.

In March 2008, the International Telecommunication Union (ITU-R) radio sector set a number of requirements for the International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced) 4G standard, specifically setting requirements for data rates for customer service. : 100Mbps speed should be provided to highly mobile subscribers (eg trains and cars), and to subscribers with low mobility (eg pedestrians and fixed subscribers) 1 Gbps speed.

Since the first versions of mobile WiMAX and LTE support speeds well below 1 Gb / s, they cannot be called IMT-Advanced compliant technologies, although they are often referred to by service providers as 4G technologies. In turn, after launch by the mobile operators of LTE-Advanced networks, for marketing purposes they were called 4G +. On December 6, 2010, ITU-R acknowledged that the most advanced technologies are considered as "4G", although this term is not defined. 4G communication systems are based on packet data protocols. IPv4 is used to send the data; IPv6 support is planned in the future.

Technically speaking, the main difference between fourth generation networks and third generation is that 4G technology is entirely based on packet data protocols, while 3G combines both packet switching and channel switching [source not specified 3012 days] . VoLTE technologies are provided for voice transmission in 4G .

The main studies in the creation of fourth generation communication systems are conducted in the direction of using the OFDM orthogonal frequency seal technology. In addition, the data transmission technology using N antennas and their

reception by M antennas - MIMO are used for maximum transmission speed. With this technology, the transmitting and receiving antennas are separated so as to achieve a weak correlation between adjacent antennas.

The research results presented in the dissertation can be used in the educational process for the training of specialists specializing in the provision of multimedia services or using wireless networks in their professional activities.